أُسس الفيزياء

للكليات التُقنية والمعاهد العليا

تأليف

أ.عبد الســـــــــــــلام عبد القادر القطاوي

الطبعة الأولى 2013
رقم الإيداع:
دار الكتب الوطنية- بنغازي

أ.عبد السلام عبد القادر القطاوي
نقال:
بريد إلكتروني:algattawia@yahoo.com

الوكالة الليبية للترقيم الدولي الموحد للكتاب
دار الكتب الوطنية
بنغازي- ليبيا
هاتف:9090509-90906379-9097074
بريد مصور:9097074
بريد إلكتروني: net-lib-libya@hotmail.com
ردمك:

سُبحانَ مَنْ مَلأَ الوَجُودَ أدِلَّـةً
لِيَلُوحَ ما أ خفى بما أبداهُ
سُبحانَ مَنْ جَعَل التَّفَكُّرَ سُلَّمًا
يَسْمُو اللبيبُ بِه إلى مَرقاهُ

إهداء

" إلى كل من شق طريقاً للنجاح وسط أشوأك من الفشل والإحباط"

شكر و تقدير

أحمد الله على نعمة الإسلام وعلى نعمه التي لاتحصى

الشكر والعرفان لكل من علمني ولكل من قرأت له لإعداد هذا العمل المتواضع.

كما يسعدني أن اتقدم بالشكر لأبنائي طلبة كلية التقنية الإلكترونية/طرابلس،الذين دفعتني حاجتهم لكتاب يتناول المقرر الدراسي في الفيزياء المتعلقة بتخصصاتهم.

الشكر والعرفان لمن اسدى لي النصح الباحث/إحسان عمر الشماخي وحرصه الخالص على أن يخرج هذا الكتاب بالشكل المناسب.

ولما للأسرة والبيت من دور مهم في هذا العمل فإني أشكر زوجتي وابنائي على مساعدتهم وصبرهم.

عبد السلام

2012/11/20

طرابلس

المقدمـــــــــــــــــــــــــــــــــــة

تميَّزت الفيزياء بإرثِها النظري المتمثل في الجانب الرياضي لتفسير الظواهر الفيزيائية ،بدلا من النمط الوصفي التجريبي ، وهذا جعل من الفيزياء عِلمًا يَمِلُّه المتعلَّم لأنه يثقل كاهله بقدر هائل من المعادلات والصيغ التي يصعب تذكرها.

في الوقت نفسه ترتبط الفيزياء ارتباطا مباشرا في كل ما يحيط بنا وفي كل تقنية نستخدمها في أمورنا الحيوية ، وبذلك دراسة الفيزياء لا تقتصر على المتخصصين فقط بل يحتاجها الإنسان بغضِّ النظر عن طبيعة عمله.

ولكي تكونَ الفيزياء ذات قبول لدى غير المتخصصين يُفضَّل تقديمها للمتعلَّم بشكل سلس بعيدا عن الإسراف النظري.

هذا الكتاب " **أُسس الفيزياء** " موجه إلى طلبة الكليات التقنية والمعاهد العليا الدارسين للاتصالات والتحكم والحاسوب ، وكل من هذه التخصصات بحاجة ماسَّةٍ لمعرفة قدْرٍ من أساسيات الفيزياء ولا سيِّما فيما يتعلق بالكهرباء والمغناطيسية والكهرومغناطيسة والموجات.

حاولتُ في هذا المقرر الدراسي "بعد تجربة خمس عشرة سنةً" تيسير المعلومة الفيزيائية بقدر الإمكان دون الخلل بمحتواها من خلال الأمثلة التوضيحية والعملية والمسائل المرتبطة بالجانب العملي.

تمِّ تقسيم المقرر في هذا الكتاب إلى جزئيين" الوِعاءُ الزمني لكل منهما شهر ونصف" يتناول الجزء الأول التعرف على الكميات الفيزيائية ووحدات القياس والمتجهات والكهرباء الساكنة وتطبيق المتجهات في الكهرباء الساكنة من حيث القوة والمجال ثم فرق الجهد والمكثفات وبعد ذلك تناول هذا الجزء الكهرباء التيارية والتأثير الحراري على المقاومة المعدنية . أما الجزء الثاني فقد تناول دراسة المغناطيسية والدائرة

المغناطيسية ومقارنتها بالدائرة الكهربائية والخواص المغناطيسية للمواد بدراسة التخلفية المغناطيسية كما تناول هذا الجزء الحث الكهرومغناطيسي تلك العلاقة الحميمة التي أودعها الخالق في المادة والتي لها الأثر الفعال في التقنية الكهربائية والإلكترونية والاتصالات. ولأهمية الموجات الكهرومغناطيسية في الاتصالات فقد تَمَّ تخصيصُ الفصلِ الأخير من هذا الجزء لدراسة نُبْذِةٍ مُبسَّطةٍ عن الموجات .

وعرفانا بالجميل أشكر كل المؤلفين الذين أخذت عنهم مادة هذا الكتاب وكل من علّمني وكل من قرأتُ له.

"والله من وراء القصد"

المؤلف

طرابلس /الجمعة18-02-2011

algattawia@yahoo.com

المحتويات

الفصل الأول

الفصل الثاني

الفصل الثالث

الفصل الرابع

الفصل الخامس

الفصل السادس

الفصل السابع

الفصل الثامن

الفصل التاسع

الملاحق

تم بحمد الله

الوحدات والقيـــاس

1.1 مقدمة.

2.1 وحدات القياس.

3.1 وحدات الكميات الأساسية والمشتقة.

4.1 معادلة الإبعاد.

5.1 الترقيم العلمي.

6.1 وحدات الأس 10 المرادفة لوحدات القياس.

7.1 أسئلة ومسائل.

الوحدات والقياس *The units and The measurements*

1.1 مقدمة

من أهم اهتمامات علم الفيزياء هو القياسات ولهذا تسمى الفيزياء بعلم القياس وبصفة عامة الفيزياء هي ذلك العلم الذي يتعامل مع الظواهر الفطرية ويدرس علاقـــة المادة بالطاقة.ولإختبار وقياس الكميات الفيزيائيةالمحيطة بنا نحتاج لبعض القياسات المعياريةالمتفق عليها عالمياً، وهذه القياسات المعيارية ليست على درجة كافية من الدقة ولكن التطور التقني يسعى جاهداً للوصول الى دقة في القياس كلما أمكن ذلك من خلال السلطة العالمية وهي المؤتمر الدولي للقياس:

"Confrence General de poids et Measures"

وإختصار هذه العبارة الفرنسية (CGPM).

2.1 وحدات القياس *Units of Measurement*

قياس الكمية الفيزيائية يتضمن مقارنته بمعيار يتم اختياره له نفس نوع الكمية الفيزيائية. والمعيار الذي يتم اختياره يعتبر مرجعا لقياس الكمية الفيزيائية يسمى وحدة قياس تلك الكمية.

قياس الكمية الفيزيائية يعنى حساب عدد الوحدات التي تحتويها الكمية الفيزيائية وعملية قياس الكمية الفيزيائية تتضمن:

1. اختيار الوحدة.

2. إيجـــــــاد عدد مرات وحدات القياس التي تتضمنها الكمية الفيزيائية.

ولتحري الدقة في حساباتنا يجب أن تكون الوحدات المستخدمة فيها صحيحة،لأن الخطأ في الحسابات باهظ الثمن كما حدث للمركبة الفضائية سنة 1999م عندما خرجت عن

نطاق السيطرة في مدار المريخ نتيجة لخلط في وحدات القياس لنظامين مختلفين لم ينتبه اليه في البرمجية.

والوحدات المستخدمة في القياس طبقاً للمعايير الدولية هي التابعة للنظام الدولي SI والذي تم تأسيسة سنة 1960م،وفي داخل هذل النظام معظم الوحدات المستخدمة في الفيزياء مشتقة من النظام الأساسي (متر،كيلوجرام،ثانية) M.K.S.

3.1 وحدات الكميات الأساسية والمشتقة *Fundamental and Derived units*

الكميات الكتلة،الطول والزمن تسمى كميات فيزيائيه أساسية وتسمى وحداتها بالوحدات الأساسية وتعرف الوحدات الأساسية بأنها الوحدات التي لا تشتق من وحدات أخرى ولا يمكن تحليلها إلى وحدات أخرى.

ولقياس الكتلة،والطول،الزمن توجد وحدات مستقلة مثل الكيلوجرام والمتر والثانية. للتعبيرعن الكميات الفيزيائية الأخرى فإننا نعبر عنها من خلال الكتلة الطول والزمن وتعرف وحدات الكميات الفيزيائية التي يعبر عنها بالكميات الأساسية بالوحدات المشتقة،الناتجة عن حاصل ضرب او قسمة لوحدات أساسية فالمساحة مثلاً ناتجة عن حاصل ضرب الوحدة الأساسية للطول في نفسها،والسرعة ناتجة عن حاصل قسمة وحدة الطول على وحدة الزمن،وهكذا.وهناك ايضاً وحدات مشتقة أخرى نُسبت شرفياً لأسماء علماء تقديراً لجهودهم في البحث العلمي مثل نيوتن لوحدة قياس القوة،وباسكال لوحدة قياس الضغط،و أوم لوحدة قياس المقاومة الكهربائية،وغيرها من الوحدات.

الجدولان (1.1) و(2.1) يحتويان على الوحدات الأساسية وبعضِ من الوحدات المشتقة التي سنتعامل معها في هذا الكتاب.

جدول(1.1) الوحدات الأساسية في النظام *SI*

الكمية الفيزيائية *physical quantity*	وحدة القياس *measuring unit*	الرمز *symbol*
الطول *length*	المتر *meter*	م *m*
الكتلة *Mass*	كيلوجرام *kilogram*	كج *kg*
الزمن *Time*	ثانية *Second*	ث *S*
درجة الحرارة *Temperature*	كيلفن *Kelvin*	*K*
شدة الإضاءة *Lumines*	قنديل *Candela*	*Cd*

جدول (2.1) الوحدات المشتقة

الكمية الفيزيائية *physical quantity*	الرمز *symbol*	وحدة القياس *measuring unit SI*	وحدات أخرى	الأسم الشرفي
الشحنة الكهربائية *Electric Charge*	**q**	A.S	*A.S*	كولوم
فرق الجهد الكهربائي *Electric Potential*	**V**	$m^2.kg.s^{-3}.A^{-1}$	*J/C*	فولت
المقاومة الكهربائية *Resistance*	**Ω**	$m^2.kg.s^{-3}.A^{-2}$	S ث	أوم
الشغل و الطاقة *Work and energy*	**J**	$m^2.kg.s^{-2}$	*N.m*	جول
القدرة *Power*	**W**	$m^2.kg.s^{-3}$	*J/s*	وات
السعة الكهربائية *Electrical Capacitance*	**F**	$m^{-2}.kg^{-1}.s^{4}.A^{2}$	*C/V*	فاراد
الفيض المغناطيسي *Magnetic Flux*	**Wb**	$m^2.kg.s^{-2}.A^{-1}$	*J/A*	ويبر
كثافة الفيض المغناطيسي *Mag. Flux density*	**T**	$Kg.s^{-2}.A^{-1}$	Wb/m^2	تسلا
الحث الكهرومغناطيسي *Electromagnetic induction*	**H**	$M^2.kg.s^{-2}.A^{-2}$	*Wb/A*	هنري
التوصيل الكهربائي *Electric conducting*	**S**	$m^{-2}.kg^{-1}.s^{3}.A^{2}$	$\Omega^{-1}=A/V$	سيمين
التردد *Frequency*	**Hz**	s^{-1}	*1/s*	هيرتز
القوة Force	**N**	$m.kg.s^{-2}$	$m.kg.s^{-2}$	نيوتن

1.3.1 الوحدتان المرفقتان *Supplementary Units*

الزاوية النصف قطرية (*rad*) *radian* وحدة لقيـــاس الزاويـــة المســـتوية *Unit plane angle*.

الزاوية نصف القطرية المجسمة (*sr*) *steradian* وحدة لقياس الزوايا المخروطية *Unit solid angle*.

ويتم تعريف هـــاتين الزاويتين كما يلي:

- **الزاوية النصف قطرية** (*rad*) *radian*:

هي الزاوية المحصورة عند مركز دائرة بقوس يساوى في الطول نصف قطر الدائرة، بمعنى أن النسبة بين طول القوس ونصف قطر الدائرة $\theta = \frac{s}{r}$.

وللدورة الكاملة (360^o *degrees*) تكون الزاوية النصف قطرية مساوية لمحيط الدائرة مقسوماً على نصف قطرها،وتكون الزاوية القطرية الواحدة $1rad = \frac{180^o}{\pi}$.

- **الزاوية نصف قطرية المجسمة** (*sr*) *steradian*:

هي الزاوية المجسمة المحصورة عند مركز الكرة بمساحة سطح يساوى مربع نصف قطر الكرة.

4.1 معادلة الإبعاد *Dimensions Equation*

بأخذ الكميات الأساسية الثلاث الكتلة والطول والزمن كإبعاد أساسية يرمز لها M,L,T حيث *M* تشير إلى الكتلة *mass* و *L* يشير إلى الطول *Length* و T تشير إلى الزمن *time* ومن هنا يعبرعن بعد السرعة LT^{-1} والتسارع LT^{-2} إما بُعد القوة فهو MLT^{-2} وتستخدم الأبعاد للتأكد من صحة القانون الفيزيائي واستنتاجه من خلال الكميات الفيزيائية ذات العلاقة ببعضها البعض وأيضا لتعيين معاملات التناسب.ومن هنا نلاحظ أن أبعاد الكميات الفيزيائية المشتقة هي الأسس *Power* التي تُرفع بها الأبعاد

الأساسية للكتلة والطول والزمن لكي تعبر عن بُعد معين.أي أن المعادلة البعدية تعبر عن العلاقة بين الكمية الفيزيائية وصيغتها البعدية *dimensional formula* متمثلة في الكميات الأساسية.

1.4.1 استخدام المعادلة البعدية *Uses of dimensional equation*

تساعد المعادلة البعدية على:

أ. التحويل من نظام الى آخر.

ب. التحقق من صحة المعادلة الفيزيائية.

جـ. اشتقاق العلاقات الهامة.

د. اختيار بعض التجارب للحصول على معلومات هامة.

2.4.1 قصور المعادلة البعدية *Limitation of dimensional equation*

أ. لا يمكن بواسطة المعادلة البعدية إشتقاق الشكل الصحيح للعلاقة الفيزيائية التي تعتمد على أكثر من ثلاث كميات.

ب. لا يمكن عن طريقها اشتقاق العلاقات التي تحتوي على دوال مثلثية أو أسية.

جـ. لاتعطي المعادلة البعدية أي معلومات عن الثوابت غير البعدية *dimensionless* والاعداد والتي قيم تعيينها تتم بطرق غير مباشرة تجريبياً.

مبدأ التجانس *Principle of Homogeneity*

ينص هذا المبدأ على أن أسس *Power* الوحدات الأساسية في أحد جانبي المعادلة يجب أن تساوي الأسس المناظرة لها في الجانب الآخر على الترتيب كما هو مبين في الامثلة التالية:

مثال(1.1) يعطي التردد f للاهتزاز المستعرض في الأوتار بالعلاقة

$$f = \frac{1}{2L}\left({}^{F}\!/_{\mu}\right)^{1/2}$$

حيث L الطول ، F الشد في الوتر وμ كتلة وحدة الأطوال (الكثافة الطولية للوتر) تحقق من صحة هذه العلاقة؟

الحـــل:

حيث أن التردد يساوي مقلوب الزمن الدوري ولذلك بُعد التردد هو T^{-1} ومن هنا يتم التحليل ألبعدي للطرف الأيمن للتأكد من صحة العلاقة

$$\frac{[L^{-1}][MLT^{-2}]^{1/2}}{[ML^{-1}]^{1/2}}$$

وهذا البُعد يعبر عن التردد وبذلك تتحقق صحة العلاقة.

مثال(2.1) عند دوران جسم في مسار دائري تؤثرعليه قوة تجذبه نحو المركز في اتجاه نصف القطر تسمى قوة الجذب المركزي ***centripetal force*** تتناسب هذه القوة مع كل من كتلة الجسم وسرعته الخطية حول المسار الدائري ونصف قطر المسار الدائري فإذا كان معامل التناسب يساوي واحداً صحيحا استنبط العلاقة التي تربط بين هذه الكميات الفيزيائية؟

الحـــل:

نُعبِّر أولاً عن الكميات الفيزيائية برموز مناسبة ،F يرمز لقوة الجذب المركزي ، m كتلة الجسم . v سرعة الجسم الخطية حول المسار الدائري أما R فهو نصف قطر

المسار الدائري وحيث أن معامل التناسب =1 فإن العلاقة التي تربط هذه الكميات الفيزيائية تكون كما يلي:

$$F = m^x v^y R^z$$

وبتحويل العلاقة إلى الصورة البُعدية وتعيين الأسس بمقارنة الطرف الأيسر للمعادلة مع طرفها الأيمن تتم معرفة القانون الفيزيائي:

$$[MLT^{-2}] = [M^x][LT^{-1}]^{y}[L^{-1}]^{z}$$

بمقارنة الأسس نجد أن $x=1\ ,\ y-z=1\ ,\ y=2$ وبذلك $z=-1$ وهكذا بالتعويض عن الأسس نحصل على القانون :

$$F = \frac{mv^2}{R^2}$$

مثال(3.1): ترتبط قوة اللزوجة في المائع بمساحة طبقة المائع ومنحدر السرعة بين الطبقات بمعامل اللزوجة وبالتعبيرعن هذه الكميات بإبعاد كل منها نجد بعد معامل اللزوجة:

$$\eta = \frac{F}{A} \Big/ \frac{dv}{dy} = \left[\frac{MLT^{-2}}{L^2}\right] \Big/ \left[\frac{LT^{-1}}{L}\right] = [ML^{-1}T^{-1}]$$

مثال(4.1) كثافة الزئبق $13.6 gm/cm^2$ فأذا تم قياس الكتلة بوحدة كج kg والطول بالمتر m فماذا تكون وحدة الكثافة في النظام الجديد؟ مستخدماً تحليل الأبعاد فقط.

الحـــل:

بُعد الكثافة ML^{-3} فأذا رمزنا للنظام الأول بُعد الكتلة M_1 وبُعد الطول L_1 ،وللنظام

الجديد بُعد الكتلة M_2 وبُعد الطول L_2 فإن المعادلة البُعدية تكون:

$$13.6\, M_1 L_1^{-3} = K M_2 L_2^{-3}$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{100} = 10^{-2}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{1}{1000} = 10^{-3}$$

$$K = \left[\frac{13.6 M_1}{M_2}\right]\left[\frac{L_1}{L_2}\right]^{-3} = 13.6 \times 10^{-3} \times (10^{-2})^{-3}$$

$$K = 13.6 \times 10^{3}\ kg/m^{3}$$

مثال(5.1) فقاعة غازية انفجرة تحت الماء محدثتاً اهتزاز زمنه الدوري يتناسب مع

$$p^{\alpha}\, d^{\beta}\, w^{\gamma}$$

حيث: P الضغط الهيدروستاتيكي، d كثافة الماء، w طاقة الانفجار.

عين قيم كل من الأسس α,β,γ؟

الحـــل:

أ. بُعد الضغط $ML^{-1}T^{-2}$.

ب. بُعد الكثافة ML^{-3}.

جـ. بُعد الطاقة $ML^{2}T^{-2}$ أما بُعد الزمن الدوري فهو T وبذلك تكون المعادلة البُعدية في طرفها الايسر كل من L,M قيمتها واحد،وبذلك يُرفع كل منهما بالأس صفر.

إذ تُكتب المعادلة البُعدية على النحو التالي:

$$M^{o} L^{o} T = [M^{\alpha} L^{-\alpha} T^{-2\alpha}]\left[M^{\beta} L^{-3\beta}\right][M^{\gamma} L^{2\gamma} T^{-2\gamma}]$$

$$0 = \alpha + \beta + \gamma$$

$$0 = -\alpha - 3\beta + 2\gamma$$

$$1 = -2\alpha - 2\gamma$$

بحل هذه المعادلات آنياً نجد أن:

$\alpha = -5/6, \beta = 1/2, \gamma = 1/3$

تحقق من الناتج.

5.1 الترقيم العلمي *Scientific Notation*

هوطريقة يتم إتباعها لكتابة الأعـداد الكبيـرة *Large Numbers* أوالصـغيرة *Small Numbers* باستخدام مضاعفات الرقم 010 *Power of ten* وقد تكون هذه المضاعفات سالبة أو موجبة ، فإذا كانت A تشير إلى قيمة عددية ما فإن $A \times 10^{\pm n}$ تعبـرعن هـذه القيمة A مضروبة في مضاعفات الرقم 10 والتي برمز لها n حيث يكون الأس موجبا في حالة الأرقام الكبيرة مثلا 10^{6} وسالبا في حالة الأرقام الصغيرة 10^{-6}.

والجدول(3.1) يوضح ما تم شرحه في هذه الفقرة.

جدول(3.1)

الأس السالب *Power of ten is negative*	الأس الموجب *Power of ten is positive*
$0.1=10^{-1}$	$100=10^{2}$
$0.001=10^{-3}$	$1000=10^{3}$
$0.000001=10^{-6}$	$1000000=10^{6}$
$0.000000001=10^{-9}$	$1000000000=10^{9}$

مثلا جهد مقداره $18000V$ يكتب $18\times10^{3}V$ أو يكتب $1.8\times10^{2}V$ وتيار مقداره

$0.003A$ يكتب $3\times10^{-3}A$ أو يكتب $0.3\times10^{-2}A$.

6.1 وحدات الأس 10 المرادفة لوحدات القياس:

Power of ten units, prefixes to the measurement units

كثيراً ما تستخدم اختصارات متفق عليها في العلوم التقنيــة والهندســية لتعبــر عــن مضاعفات وحدات معينة كما تعودنا في حياتنا اليومية مثلا أن لفظ كيلو يعبــر عــن مضاعفات وحدة القياس الأساسية مضروبة في 1000 فالوحدة الأساسية لقياس المسافة هي المتر ولذلك نقول المسافة بين طرابلس وبنغازي 1000 كيلومترا.وفيما يلي بعض من هذه الاختصارات.

جدول(4.1)

الأس Power of ten 10	الرمز Symbole	مختصر وحدة القياس Prefixes to the units
10^{-18}	A	Atto اتو
10^{-15}	F	Femto فيمتو
10^{-12}	P	Pico بيكو
10^{-9}	N	Nano نانو
10^{-6}	μ	Micro ميكرو
10^{-3}	M	Mill مللي
10^{-2}	C	Centi سنتي
10^{-1}	d	Dece ديسي
10^{1}	da	Deka ديكا
10^{2}	h	Hecto هكتو
10^{3}	*k*	Kilo كيلو
10^{6}	*M*	Mega ميجا
10^{9}	*G*	Giga جيجا
10^{12}	*T*	Tera تيرا

7.1 أسئلة ومسائل

1.1 باستخدام تحليل الأبعاد (المعادلة البعدية)،إثبت صحة العلاقة بين المقاومة الكهربائية والتيار المار خلالها والقدرة الكهربائية الناتجة $P = I^2 R$؟

2.1 إذا تم اختيار كل من الطول،الكتلة،والقوة أبعاداً أساسية.عبر عن بُعد الزمن بدلالة هذه الابعاد المذكورة؟

3.1 إذا كانت الموجة المصاحبة لجسيم متحرك تعتمد على كل من سرعة الجسيم وكتلته وثابت بلانك.مستخدماً تحليل الابعاد إثبت أن:

$$\lambda \propto \frac{h}{mv}$$

علماً بأن ثابت بلانك هو الطاقة مقسومة على التردد؟

4.1 عند حركة كرة خلال سائل لزج بسرعة v ونصف قطر r فإن قوة اللزوجة F تتناسب مع معامل اللزوجة η الذي وحدته ($kg/m.s$) وسرعة الكرة ونصف قطرها.عن طريق تحليل الابعاد استنتج هذه العلاقة علماً بأن ثابت التناسب وجد تجريبياً 6π؟

5.1 إذا اعتبرنا الأرض كرة تقريباً نصف قطرها 6.37×10^6 متراً احسب الكميات التالية مقدرة بالميجامتر Mm والميجامتر مربع $(Mm)^2$ والميجامتر مكعب $(Mm)^3$ على الترتيب:

- محيط الكرة الأرضية؟
- مساحة الكرة الأرضية؟
- حجم الكرة الأرضية؟

6.1 سرعة الضوء ($C = 3\times10^8 m/s$) عبر عن سرعة الضوء بالوحدات التالية:

- mm/s.
- cm/ms.
- $nm/\mu s$.

كم يستغرق الضوء لإختراق ذرة قطرها $10^{-10}m$ (عبر على ذلك بوحدة مناسبة).

7.1 إذا كانت كتلة الإلكترون ($9.1\times10^{-31}kg$).كم إلكترون في الكيلوجرام الواحد (عبر عن العدد بالتير إلكترون Te)؟

8.1 باستخدام تحليل الابعاد(المعادلة البعدية)اثبت صحة المعادلات التالية:

- $r = vt^2$ ؟
- $E = mvrt$ ؟
- $E = mv^2/t^2$ ؟
- $t = v/r$ ؟
- $t = r/v$ ؟
- $E^2 = m^2v^2$ ؟
- $v^2 = E^2/m^2$ ؟
- $r = rt$ ؟

حيث r تعني المسافة،و t الزمن،و E الطاقة.

9.1 إذا كانت الطاقة الحركية لجسم $E_k = \frac{mv^2}{2}$ احسب الطاقة الحركية بالجول لإلكترون سرعته 0.1C وباي سرعة يجب ان يتحرك شخص كتلته $60kg$ ليكسب هذه الطاقة؟

10.1 حجرة ابعادها ($7m\times4m\times2m$).ما كتلة الهواء داخل هذه الحجرة إذا كانت كثافة الهواء عند درجة الحرارة والضغط المعتادين ($1.21kg/m^3$)؟

11.1 يفقد شخص $2.3kg$ من كتلته أسبوعياً،عبر عن مقدار الفقد في الكتلة بوحدة المليجرام \الثانية (mg/s)؟

12.1 خزان مياه حجمه ($5700m^3$) يحتاج لتفريغه مدة $12h$.مامعدل انسياب الكتلة في الثانية (kg/s) من الخزان؟ كثافة الماء ($10^3kg/m^3$).

13.1 عبر عن سرعة المخلوقات التالية بالمتر \ الثانية (m/s):

أ. سرعة الأرنب $19 km/hr$.

ب. سرعة العنكبوت $1.8 ft/s$ علماً بأن $(1ft = 0.33m)$ تقريباً.

جـ. سرعة الثعلب $100 m/min$.

د. سرعة الأسد $1900 km/day$.

هـ. سرعة الإنسان $1000 cm/s$.

14.1 تستخدم السنة الضوئية لقياس المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة،وهي وحدة مسافة وليست وحدة زمن.احسب معامل التحويل (*Conversation factor*) بين السنة الضوئية والمتر؟ثم احسب المسافة بالسنة الضوئية لنجم يبعد عن الأرض $(4\times10^{16}m)$؟

15.1 متوسط المسافة بين الشمس والأرض تعادل 390 مرة المسافة بين الأرض والقمر.في حالة الكسوف الكلي *total eclipse* (وقوع القمر بين الأرض والشمس)، احسب:

أ. النسبة بين قطري الشمس والقمر؟

ب. النسبة بين حجمي الشمس والقمر؟

جـ. إذا كانت الزاوية التي يصنعها القمر عند عين المشاهد في منطقة الكسوف 0.52^o وأن المسافة بين القمر والأرض (3.82×10^5km).احسب قطر القمر؟

الجواب(أ. 350 ، ب. 5.9×10^7 ،جـ. $3500km$)

المتجهـــــــــــات

1.2 الكميات العددية والاتجاهية.

2.2 تحليل المتجـــــــــــه.

3.2 الجمع الاتجاهي (طريقة تحليل الابعاد).

4.2 ضرب المتجهات.

5.2 مسقط المتجه.

6.2 أمثلـــــة.

7.2 مسائل

المتجهـــــــــات *THE VECTORS*

1.2 الكميات العددية والاتجاهية *Scalar and vector quantities*

للكميات العددية مقدار فقط ويعبرعنها برقم مصحوب بوحدة قياس *unit* مثلا كتلة كيس من السكر $50kg$ ومساحة قاعة الدرس $60m^2$ وحجم علبـــة $120cm^3$ وتـــردد محطـــة الكهرباء$50Hz$ وشحنة الإلكترون $1.6\times10^{-19}C$. والكميات العددية ذات النوع الواحـــد تتم معاملتها حسب قواعد الحساب المعتادة.

أما الكميات الاتجاهية لها كل مـــن المقـــدار ولاتجـــاه ومثـــال علـــي ذلـــك الإزاحـــة *displacement* مثلا سيارة تنتقل $200km$ إلـــي جنـــوب الغـــرب وتتحـــرك بســـرعة $100km/hr$ شمالاً وعند إضافة الكميات الاتجاهية إلى بعضها البعض يؤخذ الاتجاه في الاعتبار.

2.2 تحليل المتجـــــــــه *Vector Analysis*

- **متجهات الوحدة** *unit vectors*

متجه الوحدة هو متجه طوله وحدة الطول ، إذا كان A متجه مقداره $a>0$ فإن متجه الوحدة $\hat{a} = A/_a$ حيث $\hat{a}$ يسمى متجه الوحدة له نفس اتجاه A ويكتب $A = a\hat{a}$

- **متجهات الوحدة المستطيلة** *Rectangular Unit Vectors*

متجهات الوحدة التي يتعامد بعضها على بعض ويكون اتجاه كل منها مع الاتجاه الموجب للإحداثيات الموجبة (x,y,z) يرمز لها $(\hat{\imath}, \hat{\jmath}, \hat{k})$ على الترتيب تسمى متجهات الوحدة المستطيلة.

- **مركبات المتجه** *Component of a vector*

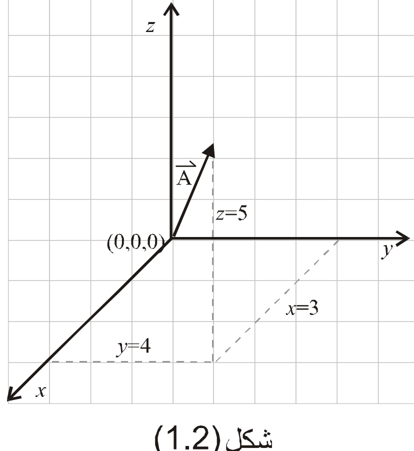
يمكن التعبير عن أي متجه في 3 أبعاد يبدأ بنقطة ابتدائية *initial point* عند نقطة الأصل O بمنظومة الإحداثيات المستطيلة *Rectangular Coordinate system*

شكل(1.2) حيث المتجه $\vec{A}$ يتجه من نقطة الأصل الى النقطة P(3,4,5) وتكون مركباته (A_x, A_y, A_z) على الترتيب ويكتب المتجه بدلالة متجهات الوحدة المستطيلة:

$$\vec{A} = A_x\hat{\imath} + A_y\hat{\jmath} + A_z\hat{k} \quad ...(1.1)$$

أما مقدار المتجه

$$|A| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad ...(2.1)$$



شكل(1.2)

3.2 الجمع الاتجاهي (طريقة تحليل الابعاد) *Vector addition*

لإضافة متجهين أو أكثر $(\vec{A}, \vec{B}, \vec{C})$ نتبع الخطوات التالية :

- يحلل كل متجه إلي مركباته في الاتجاهات (x,y,z)
- تضاف المركبات التي في الاتجاه x إلى بعضها البعض لتعطي محصلة R_x وكذلك التي في الاتجاه y لتعطي R_y وأيضا التي في الاتجاه z لتعطي R_z ، وبذلك يكون مقدار كل من R_x ،R_y وR_z :

$$R_x = A_x + B_x + C_x \quad ... (3.1)$$

$$R_y = A_y + B_y + C_y \quad ... (4.1)$$

$$R_z = A_z + B_z + C_z \quad ... (5.1)$$

- يحسب مقدار واتجاه المحصلة R من مركباتها R_x , R_y , R_z حسب القاعدة

$$\vec{R} = R_x\hat{\imath} + R_y\hat{\jmath} + R_z\hat{k} \quad \ldots\ldots(6.1)$$

أما المقدار فهو:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad \ldots\ldots(7.1)$$

وسنناقش أمثلة على استخدام الكميات الاتجاهية عند الحديث على القوى والمجالات الكهروستاتيكية.

4.2 ضرب المتجهات *Vector Multiplication*

في كثير من التطبيقات الفيزيائية ومن بينها المجالات الكهرومغناطيسية تظهر أهمية ضرب المتجهات ويوجد نوعان من ضرب المتجهات هما:

- **الضرب العددي** *Dot or Scalar Product*

حاصل الضرب العددي لمتجهين $(\vec{A}, \vec{B})$ يعبر عنه $\vec{A} \cdot \vec{B}$ وتقرا (A *dot* B) ويعرف حاصل الضرب العددي بأنه حاصل ضرب مقدار كل من المتجهين في جيب تمام الزاوية المحصورة بينهما وهو كمية عددية وليست متجهة:

$$\vec{A}.\vec{B} = AB\cos\theta \quad \ldots\ldots(8.1)$$

حيث: $0 < \theta < \pi$

وبناء عليه فإن:

$$\hat{\imath}.\hat{\imath} = \hat{\jmath}.\hat{\jmath} = \hat{k}.\hat{k} = 1$$

لأن الزاوية بينهما تساوي 0^o

أما

$$\hat{\imath}.\hat{\jmath} = \hat{\jmath}.\hat{k} = \hat{k}.\hat{\imath} = 0$$

لأن الزاوية بينهما 90^o وبذلك

$$\vec{A}.\vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z \quad \dots\dots (9.1)$$

$$\vec{A}.\vec{A} = A^2$$

وإذا كان حاصل ضرب المتجهان

$$\vec{A}.\vec{B} = 0$$

ولكن كل من المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ لا يساويان 0 فإن المتجهين متعامدان.

- **الضرب الاتجاهي** *Cross or Vector product*

حاصل الضرب الاتجاهي لمتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ هو متجه آخر $\vec{C}$ عمودي على مستوي كل من $\vec{A}$ و $\vec{B}$ حيث $\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$ ويقرأ (A *cross* B) ويعرف مقدار المتجه $\vec{C}$ بأنه حاصل ضرب المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ في جيب الزاوية المحصورة بينهما أما $\vec{C}$ كمتجه شكل(2.2) يعبر عنه:

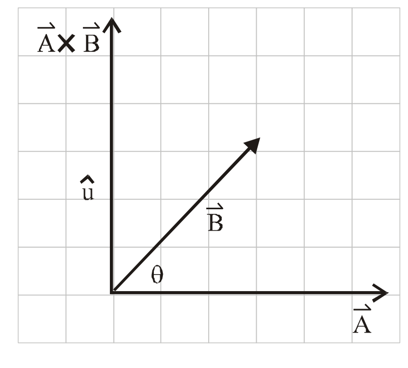
$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} = AB\sin\theta\,\hat{u} \quad \dots (10.1)$$

حيث:

$$0 < \theta < \pi$$

و $\hat{u}$ متجه الوحدة للمتجه $\vec{C}$ كما تم تعريفه سابقا.ويلاحظ في هذا النوع من عملية الضرب أن

$$\hat{\imath} \times \hat{\imath} = \hat{\jmath} \times \hat{\jmath} = \hat{k} \times \hat{k} = 0$$



شكل(2.2)

$$\hat{\imath} \times \hat{\jmath} = \hat{k} \;,\; \hat{\jmath} \times \hat{k} = \hat{\imath} \;,\; \hat{k} \times \hat{\imath} = \hat{\jmath},$$

وبذلك فإن:

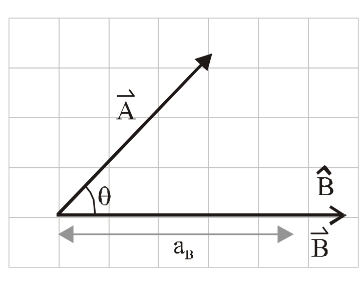
$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$$

والعكس يساوي نفس متجه الوحدة بإشارة سالبة ، ويتم الحصول على حاصل الضرب ألاتجاهي لمتجهين باستخدام المحددات:

$$\vec{A}\times\vec{B}=\begin{vmatrix}\hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k}\\ A_x & A_y & A_z\\ B_x & B_y & B_z\end{vmatrix}\quad \dots\dots(11.1)$$

5.2 مسقط المتجه *Vector projection*

من إحدى تطبيقات الضرب الاتجاهي هو تعيين مسقط المتجه في اتجاه معين،وقد يكون المسقط (*projection*) الناتج متجهاً أو كمية عددية (*scalar*).مثلاً بأخذ المتجه $\vec{A}$ يصنع زاوية قدرها θ مع المتجه $\vec{B}$، فاننا نعرف الكمية القياسية a_B للمتجه $\vec{A}$ مع اتجاه $\vec{B}$ شكل(3.2أ) :

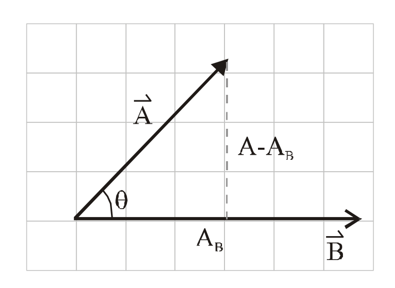


شكل (3.2أ)

$$a_B=|A|\cos\theta$$

$$=|A||B|\cos\theta$$

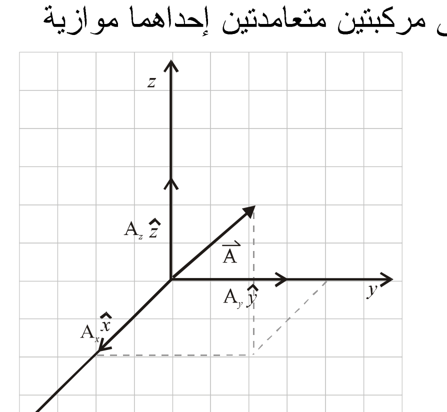
اما المركبة الاتجاهية A_B للمتجه $\vec{A}$ في الاتجاه B هي المركبة العددية (القياسية) مضروبة في متجه الوحدة باتجاه B وهو المتجه $\hat{B}$ شكل(3.2 ب):



شكل (3.2ب)

$$A_B=a_B\hat{B}=(\vec{A}.\hat{B})\hat{B}$$

ويلاحظ من الشكل أن المتجه يمكن أن يحلل الى مركبتين متعامدتين إحداهما موازية A_B للمتجه $\vec{B}$ والاخرى عمودية $A-A_B$ على المتجه $\vec{B}$. في حالة الابعاد الثلاثة يحلل المتجه الى ثلاث مركبات متعامدة بعضها على البعض،شكل(4.2).



شكل(4.2)

6.2 أمثلـــــة

مثال(1.2) المتجهان:

$$\vec{A} = 10\hat{\imath} - 4\hat{\jmath} + 6\hat{k}$$

$$\vec{B} = 2\hat{\imath} + \hat{\jmath}$$

احسب:

أ. مركبة المتجه $\vec{A}$ في الاتجاه y؟

ب. مقدار $3\vec{A} - \vec{B}$؟

جـ. متجه الوحدة للمتجه $\vec{A} + 2\vec{B}$؟

الحـــل:

أ. بالنظر الى مركبات المتجه $\vec{A}$ نلاحظ أن مركبة $\vec{A}$ في اتجاه y هي 4.

ب.

$$3\vec{A}-\vec{B}=3\left(10\hat{\imath}-4\hat{\jmath}+6\hat{k}\right)-(2\hat{\imath}+\hat{\jmath})$$

$$=30\hat{\imath}-12\hat{\jmath}+18\hat{k}-2\hat{\imath}-\hat{\jmath}=28\hat{\imath}-13\hat{\jmath}+18\hat{k}$$

ويمكن كتابتها على الصورة (28،−18،13)

وبذلك فإن مقدار $3\vec{A}-\vec{B}$:

$$\left|3\vec{A}-\vec{B}\right|=\sqrt{(28)^2+(-13)^2+(18)^2}=\sqrt{1277}=35.74$$

ج. بفرض أن:

$$\vec{C}=\vec{A}+2\vec{B}$$

$$\vec{C}=\left(10\hat{\imath}-4\hat{\jmath}+6\hat{k}\right)+2(2\hat{\imath}+\hat{\jmath})=14\hat{\imath}-2\hat{\jmath}+6\hat{k}$$

ويكون متجه الوحدة للمتجه $\vec{C}$ هو:

$$\hat{C}=\frac{\vec{C}}{|\vec{C}|}=\frac{\left(14\hat{\imath}-2\hat{\jmath}+6\hat{k}\right)}{\sqrt{(14)^2+(-2)^2+(6)^2}}$$

$$\hat{C}=0.9113\hat{\imath}-0.1302\hat{\jmath}+0.3906\hat{k}$$

مثال(2.2) ينساب نهر بسرعة ($10\,km/h$) في إتجاه الجنوب الشرقي،وهي نفس السرعة والاتجاه التي يتحرك بها زورق في هذا النهر.ويمشي رجل على منصة (*deck*) الزورق بسرعة ($2\,km/h$)،في اتجاه عمودي على حركة الزورق.عين سرعة الرجل بالنسبة الى الارض؟

الحـــل:

سرعة الزورق:

$$V_b = 10(\cos 45\hat{\imath} - \sin 45\,\hat{\jmath}) = (7.071\hat{\imath} - 7.071\hat{\jmath})\ km/h$$

سرعة الرجل بالنسبة لسرعة الزورق (السرعة النسبية):

$$V_m = 2(-\cos 45\,\hat{\imath} - \sin 45\,\hat{\jmath}) = (-1.414\hat{\imath} - 1.414\hat{\jmath})\ km/h$$

السرعة المطلقة للرجل:

$$V_{ab} = V_m + V_b = 5.657\hat{\imath} - 8.485\hat{\jmath}$$

$$|V_{ab}| = \sqrt{(5.657)^2 + (-8.485)^2} = 10.2\ km/h$$

وتجاه سرعته:

$$\tan\theta = \frac{V_b}{V_m} = \frac{-8.485}{5.657} = -1.499$$

$$\theta = \tan^{-1}(-1.499) = 56.3^o$$

أي ان سرعة الرجل المطلقة هي (10.2 km/h) بزاوية اتجاه قدرها 56.3^o جنوب الشرق.

مثال(3.2) تقع النقطتان q,p عند (0,2,4) و (-3,1,5) على الترتيب،احسب:

أ. متجه الموضع للنقطة p؟

ب. المتجه من p الى q؟

جـ. المسافة بين النقطتين؟

د . المتجه الموازي للمتجه $p\ q$؟ الذي مقداره 10 وحدات.

الحــل:

أ. متجه الموضع هو المتجه الذي يمر بنقطة الاصل:

$$\vec{p} = 0\hat{\imath} + 2\hat{\jmath} + 4\hat{k} = 2\hat{\jmath} + 4\hat{k}$$

ب. المتجه من p الى q:

$$\overrightarrow{pq} = \vec{q} - \vec{p} = -3\hat{\imath} - \hat{\jmath} + \hat{k}$$

جـ. المسافة بين النقطتين p,q:

$$|pq| = \pm\sqrt{(-3)^2 + (-1)^2 + (1)^2} = 3.317$$

د. المتجه الموازي للمتجه $\overrightarrow{pq}$ هو المتجه $\vec{C}$:

$$\vec{C} = \overrightarrow{pq}\ \widehat{pq}$$

حيث $\widehat{pq}$ متجه الوحدة في اتجاه $\overrightarrow{pq}$ وبذلك:

$$\widehat{pq} = \frac{-3\hat{\imath} - \hat{\jmath} + \hat{k}}{\sqrt{9 + 1 + 1}} = \frac{-3\hat{\imath} - \hat{\jmath} + \hat{k}}{3.317}$$

فإذا كان مقدار المتجه $|\vec{C}| = 10$ فإن:

$$\vec{C} = 10\widehat{pq}$$

$$\vec{C} = 10\left(\frac{-3\hat{\imath} - \hat{\jmath} - \hat{k}}{3.317}\right)$$

$$\vec{C} = \pm(-9.045\hat{\imath} - 3.015\hat{\jmath} + 3.015\hat{k})$$

مثال(4.2) المتجهان:

$$\vec{A} = \hat{\imath} + 3\hat{k}$$

$$\vec{B} = 5\hat{\imath} + 2\hat{\jmath} - 6\hat{k}$$

عين كل من:

أ. $|\vec{A} + \vec{B}|$ ؟ **ب.** $5\vec{A} + \vec{B}$ ؟ **جـ.** مركبة $\vec{A}$ في اتجاه y ؟ **د.** متجه الوحدة الموازي؟

الحـــل: يترك للطالب.

مثال(5.2) النقاط p (1,-1,5) و q (2,4,6) و R (0,3,8) احسب:

أ. المتجه $\overrightarrow{qR}$ ؟ **ب.** المسافة بين النقطتين q,R ؟ **جـ.** الزاوية بين qR , qp ؟

د. مساحة المثلث pqR ؟

الحـــل: متروك للطالب.

الجواب (**أ.** $-2\hat{\imath} - \hat{\jmath} + 2\hat{k}$، ب. 3 ،جـ. 70.93^{o} ، د. 10.12)

مثال(6.2) المتجهان:

$$\vec{A} = 3\hat{\imath} + 4\hat{\jmath} + \hat{k}$$

$$\vec{B} = 2\hat{\jmath} - 5\hat{k}$$

احسب الزاوية المحصورة بينهما؟

الحـــل:

الزاوية θ_{AB} يمكن حسابها بطريقة الضرب القياسي أو الاتجاهي:

أ. طريقة الضرب القياسي:

$$\vec{A}.\vec{B} = \left(3\hat{\imath} + 4\hat{\jmath} + \hat{k}\right).\left(2\hat{\jmath} - 5\hat{k}\right) = 0 + 8 - 5 = 3$$

$$|A| = \sqrt{9 + 16 + 1} = \sqrt{26}$$

$$|B| = \sqrt{4 + 25} = \sqrt{29}$$

$$\cos\theta_{AB} = \frac{A.B}{|A||B|} = \frac{3}{\sqrt{26 \times 29}} = 0.1092$$

$$\theta_{AB} = \cos^{-1}(0.1092) = 83.73^{o}$$

أو باستخدام الضرب الاتجاهي:

$$|A \times B| = |A||B|\sin\theta$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k} \\ 3 & 4 & 1 \\ 0 & 2 & -5 \end{vmatrix}$$

$$= -22\hat{\imath} + 15\hat{\jmath} + 6\hat{k}$$

$$|A \times B| = \sqrt{(-22)^2 + (15)^2 + (6)^2} = \sqrt{745}$$

$$\sin\theta_{AB} = \frac{|A \times B|}{|A||B|} = \frac{\sqrt{745}}{\sqrt{26 \times 29}} = 0.994$$

$$\theta_{AB} = \sin^{-1}(0.994) = 83.73^{o}$$

مثال(7.2) احسب الزاوية بين المتجهين:

$$\vec{A} = \hat{\imath} + 3\hat{k}$$

$$\vec{B} = 5\hat{\imath} + 2\hat{\jmath} - 6\hat{k}$$

الحـــل متروك للطالب.

7.2 مسائل

1.2 المتجهات:

$$\vec{A} = 2\hat{\imath} + 5\hat{\jmath} - 3\hat{k}$$

$$\vec{B} = 3\hat{\imath} - 4\hat{\jmath}$$

$$\vec{C} = \hat{\imath} + \hat{\jmath} + \hat{k}$$

أ. عين: A+2B ؟ ب. احسب: |A-5C| ؟ ج. عين قيمة k التي عندها 2=|kB| ؟

د. عين: $\frac{(A\times B)}{A.B}$ ؟

2.2 المتجهات:

$$\vec{P} = \hat{\imath} - 5\hat{\jmath} + 3\hat{k}$$

$$\vec{Q} = 3\hat{\imath} + 2\hat{\jmath} + 4\hat{k}$$

$$\vec{R} = \hat{\imath} - \hat{\jmath}$$

عين: أ. $\vec{P}.\vec{Q}$ ؟ ب. $\text{Cos}\theta_{PQ}$ ؟ جـ. $\vec{Q}\times\vec{R}$ ؟ د. $\text{Sin}\theta_{QR}$ ؟ هـ. $\vec{P}.(\vec{Q}\times\vec{R})$ ؟
و. $\vec{Q}.\vec{R}\times\vec{P}$ ؟ ز. $\vec{P}\times(\vec{Q}\times\vec{R})$ ؟ حـ. $(\vec{P}\times\vec{Q})\times\vec{R}$ ؟

3.2 المتجهات:

$$\vec{u} = u_x\hat{\imath} + 5\hat{\jmath} - \hat{k}$$

$$\vec{A} = 2\hat{\imath} - v_y\hat{\jmath} + 3\hat{k}$$

$$\vec{w} = 6\hat{\imath} + \hat{\jmath} + w_z\hat{k}$$

عين قيمة كل من u_x , v_y , w_z اذا كانت كل من هذه المتجهات متعامدة؟

4.2 إحسب الزاويا التي يصنعها المتجه:

مع المحاور x ,y, z ؟

5.2 المتجه:

$$\vec{Q} = (2x - y)\hat{\imath} + (4y + z)\hat{\jmath} + (4x - 2z)\hat{k}$$

أ. عين متجه الوحدة في اتجاه $\vec{Q}$ عند النقطة P(1,2,1) ؟

ب. احسب مركبة $\vec{Q}$ عند النقطة P في الاتجاه PT حيث T تمثل النقطة (5,3,-4)؟

حـ. متى يكون المتجه $\vec{Q}$ مساوياً لمتجه الوحدة ؟

6.2 المتجهان:

$$\vec{E} = 2x\hat{\imath} + \hat{\jmath} + yz\hat{k}$$

$$\vec{F} = xy\hat{\imath} - y^2\hat{\jmath} + xyz\hat{k}$$

اوجد: أ. مقدار $\vec{E}$ عند النقطة (1,2,3) ؟

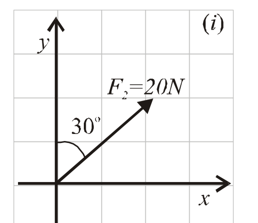
ب. مركبة $\vec{E}$ في اتجاه $\vec{F}$ عند النقطة (1,2,3) ؟

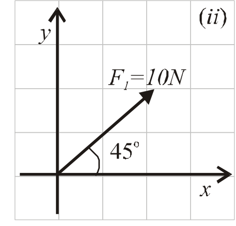
ﺣ. المتجه العمودي على كل من $\vec{E}$ و $\vec{F}$ والذي مقداره الوحدة؟

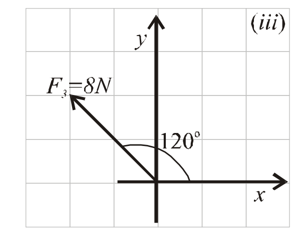
7.2 النقاط $P_1(1,2,3)$, $P_2(-5,2,0)$, $P_3(2,7,-3)$ تُكون مثلث في الفراغ. احسب مساحة المثلث؟

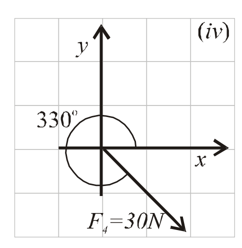
8.2 تقع النقاط التالية عند رؤوس مثلث $P_1(4,1,-3)$, $P_2(-2,5,4)$, $P_3(0,1,6)$ عين زوايا المثلث؟

9.2 احسب كلاً من المركبتين في اتجاه x واتجاه y لكل من المتجهات الموضح بالرسم؟

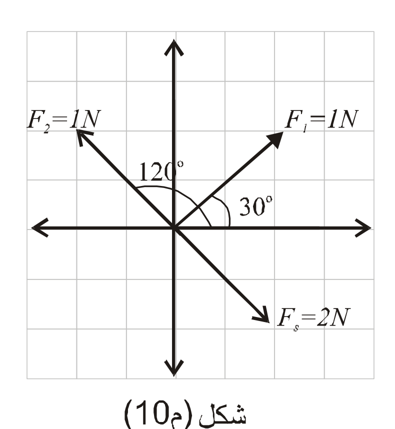








10.2 في الشكل(م10) احسب مقدار القوة المؤثرة على الجسم ثم حدد اتجاهها؟



شكل (م10)

11.2 طائرة عمودية تطير عمودياً (500ft) الى أعلى، ثم (700ft) افقياً جنوباً،ثم (300ft) افقياً شرقاً.كم تبعد عن نقطة البداية؟

12.2 تبعد النقطة $P(2,5,d)$ عن النقطة (-1,1,4) مسافة 5 وحدات،احسب قيمة d؟

13.2 يتحرك جسم (250m) في اتجاه (35^o) شرق الشمال ،ثم (170m) شرقاً.

أ. استخدم الطرق البيانية لحساب ازاحته من نقطة الاصل؟

ب. قارن مقدار ازاحته مع المسافة التي قطعها؟

الفصل الثالث

1.3 الكهروستاتيكية (الكهرباء الساكبة).

2.3 قانونا كولوم.

3.3 الصورة الاتجاهية لقانون كولوم.

4.3 أمثلـــــة.

5.3 الجهـــــــــد الكهربائي.

6.3 فرق الجهـــد الكهربائي.

7.3 امثلـــــة.

8.3 المجـــــــال الكهربائي.

9.3 خواص خطوط القوى الكهربائية.

10.3 الشدة الكهربائية أوشدة المجال.

11.3 أمثلــــــة.

12.3 الفيض الكهربائي.

13.3 كثافة الفيض الكهربائي.

14.3 أمثلـــــة.

15.3 قانون جاس.

16.3 جهد الانهيار أو قوة العزل.

17.3 أمثلـــــة.

18.3 مســـائل.

1.3 الكهروستاتيكية (الكهرباء الساكبة) *Electrostatics*

ما تم دراسته في مرحلة التعليم المتوسط هو أنه عند توصيل جسمين مشحونين بشحنتين مختلفتين خلال موصل تنساب الإلكترونات من الشحنة السالبة (حيث الزيادة في عدد الإلكترونات) إلى الشحنة الموجبة (حيث النقص في عدد الإلكترونات) وهذا الانسياب للإلكترونات يسمى التيار الكهربائي ويستمر التيار الكهربائي في الانسياب طالما هنـــاك فرق في الجهد بين الجسمين ، وهذا الفرع من دراسة الكهرباء يسمى الكهرباء التيارية *current electricity* نتناوله في الفصل الخامس.

ولكن هناك حالة أخرى حيث لا تتحرك الشحنات (أللإلكترونات) ولكن تبقـــى ســـاكنة *static* أو مستقرة *stationary* على الأجسام وتحدث هذه الحالة عنـــدما يـــتم فصـــل الأجسام المشـــحونة بـــبعض الأوســـاط العازلـــة *insulating media* تمنـــع حركـــة الإلكترونات وهذه تسمى الكهرباء الساكنة *static electricity* ويختص بدراستها فرع يسمى الكهروستاتيكية *electrostatic*. وبالرغم من أن الكهرباء التيارية مـــن الناحيـــة العملية أكثر استخداما إلا أنه يجب الاهتمام بدراسة الكهروستاتيكية أيضا لما لهـــا مـــن أهمية وفي الفصل الرابع نتناول بعض تطبيقات الكهروستاتيكية ومنها دراسة المكثفات.

2.3 قانونا كولوم *Coulomb's Laws*

القانون الأول :- الشحنات المتشابهة ينفر كل منهما من الآخر بينما الشحنات المختلفـــة يجذب كل منهما الآخر. بمعني أنه لو كان هناك شحنتان لهما نفس النوع (كـــل منهمـــا موجبة أو كل منهما سالبة) فإن القوة بينهما تنافر *repulsion* أما إذا كانـــت أحـــدهما موجبة والأخرى سالبة فإن القوة بينهما تجاذب *attraction* .

القانون الثاني :القوة بين شحنتين نقطيتين *point charges* تتناسب طرديا مع حاصل ضرب مقدار كل من الشحنتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2} = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \ldots\ldots (1.3)$$

حيث k مقدار ثابت يعتمد على الوسط الذي توضع فيه الشحنتان، ويختلف وسط عن الآخر بسماحيته الكهربية *Permittivity* فالسماحية خاصية الوسط تؤثر في مقدار القوة بين شحنتين مختلفتين فالوسط الأكثر سماحية يكون أقل قوة بين الجسمين المشحونين الموضوعين فيه،فللهواء والفراغ *vacuum and air* القيمة الصغرى للسماحية ، ويعبر عن السماحية للمادة بالسماحية المطلقة (الفعلية) ε *Absolute*(*actual*) وهي أكبر من سماحية الهواء أو الفراغ ε_0 والنسبة بينهما تسمي السماحية النسبية ε_r وتسمى أيضا بثابت العزل الكهربائي *dielectric constant* أما قيمة المقدار الثابت k تساوي:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \quad \ldots\ldots (2.3)$$

والقيمة العددية لسماحية الفراغ $\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}$ F/*m*

ومنها $k = 9\times10^9/\varepsilon_r$

وللمساحية دور هام ولتوضيح ذلك لو وضُعت شحنتان q_1 و q_2 وبينهما مسافة r في وسط عازل ($\varepsilon_r = 3$) فإن القوة بينهما تساوي ثلث القوة بينهما فيما لو كانا في الهواء. وتعامل محصلة القوي المؤثرة على شحنة نتيجة عدد من الشحنات الأخرى إتجاهيا كما تم ذكره عند دراسة المتجهات.

3.3 الصورة الاتجاهية لقانون كولوم *Coulomb's law in vector form*

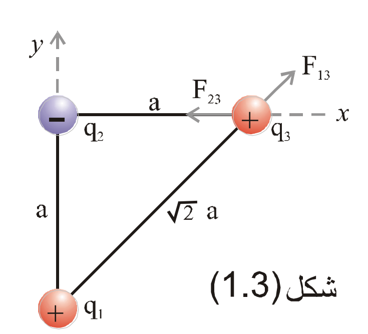
عند التعامل مع قانون كولوم لابد أن نتذكر أن القوة كمية متجهة وبذلك يعبر عن قانون كولوم بصورة اتجاهية بواسطة متجه الوحدة الذي يشير اتجاهه من احدى الشحنتين المؤثرة إلى الأخرى المؤثر عليها فالقوة التي تؤثر بها q_1 على q_2 يعبر عنها إتجاهياً:

$$F_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}_{12} \quad \ldots\ldots (3.3)$$

حيث أن r_{12} هو متجه الوحدة *unit vector* يتجه من q_1 إلى q_2 ، أما القوة التي تؤثر بها q_2 على q_1 فهي F_{21} مساوية للقوة F_{12} ومضادة لها في الاتجاه يعني $F_{12} = -F_{21}$ فإذا كان للشحنتين نفس الإشارة فإن حاصل ضربهما موجب وتكون القوة تنافراً أما إذا كانت الشحنتان مختلفتين في الإشارة فإن حاصل ضربهما سالب وتكون القوة تجاذبـــاً. إن ملاحظة حاصل ضرب الشحنتين تعتبر طريقة سهلة لمعرفة اتجاه القوة العاملة على الشحنات.

4.3 أمثلـــــة

مثال(1.3) ثلاث شحنات نقطية وضعت عند أركان مثلث قائم الزاوية شكل(1.3) حيث أن $q_1 =$ $q_3 = 5\mu C$ و $q_2 = -2\mu C$ و $a = 0.1m$ احسب محصلة القوة المؤثرة على q_3؟



شكل(1.3)

الحـــــل :

القوة التي تؤثر بها q_2 على q_3 تكون تجاذبا في اتجاه q_2 ومقدارها هو

$$F_{23} = k\frac{q_2 q_3}{r^2}\hat{r}$$

$$F_{23} = 9\times10^9\frac{(2\times10^{-6})(5\times10^{-6})}{(0.1)^2} = 9N$$

أما القوة التي يؤثر بها q_1 على q_3 تكون تنافرا في اتجاه q_3 ويحسب مقدار هذه القوة بنفس الطريقة نجد إنها تساوي $11N$ وبتحليل القوتين اتجاهيا مع المحورين x وy نجد أن

$$F_{23x} = 9cos180 = -9N$$

و
$$F_{23y} = 0$$

أما
$$F_{13x} = 11cos\,45 = 7.9N$$

وكذلك
$$F_{13y} = 7.9N$$
(لماذا؟)

وبذلك فإن مجموع القوى في الاتجاه x هي:

$$F_x = -9+7.9 = -1.1N$$

ومجموع القوى في الاتجاه y هي:

$$F_y = 0 +7.9 =7.9N$$

وتكتب محصلة القوة في الشكل ألاتجاهي

$$\vec{F} = F_x\hat{\imath} + F_y\hat{\jmath} = -1.1\hat{\imath} + 7.9\hat{\jmath}$$

تمرين(1.3) احسب مقدار القوة F والزاوية التي تصنعها مع محور x في المثال السابق؟

(متروك للطالب) الجواب $(8N, 82^0)$

مثال(2.3) شحنتان متساوياتان في المقدار وضعتا في وسط سماحيته النسبية $\varepsilon_r = 5$

،والمسافة بينهما ($20cm$) بحيث اصبحت القوة بينهما ($25\times10^5\ N$) ما مقدار شحنة كل منهما؟

الحـــل

حيث أن الشحنتين مختلفتان في النوع فإن القوة بينهما تجاذباً وتأخذ إشارة سالبة أي أن

$$-25\times10^5 = 9\times10^9\frac{q(-q)}{5(0.02)^2}\hat{r}$$

$$\Rightarrow q = \sqrt{\frac{25\times10^5\times(0.02)^2}{9\times10^9}\times5} = 745\mu C$$

مثال(3.3) كرة صغيرة عليها شحنة مقدارها $+20\mu C$ وكرة أخرى مساوية لها في القطر عليها شحنة مقدارها $-5\mu C$ مست كل من الكرتين بعضهما البعض ثم فصلتا بمسافة $10cm$ في الهواء ما مقدار القوة بينهما؟

الحـــل

عندما تمس كل من الكرتين بعضهما البعض فإن الشحنة المحصلة

$$q = (20\ \mu C) + (-\ 5\ \mu C) = 15\ \mu C$$

وعند انفصالهما يبقى على كل واحدة منهما نصف الشحنة المحصلة بمعني

$$q_1 = q_2 = q/2 = 15/2 = 7.5\mu C$$

وبالتعويض تكون القوة بينهما $50.62N$ ما نوعها؟

مثال(4.3) شحنة q قُسمت إلى قسمين بحيث تكون قوة التنافر بينهما قيمة قصوى عندما يكون البعد بينهما مسافة ما . كيف يتم توزيع هذه الشحنة عند الانقسام؟

الحـــل

بفرض أن المسافة بين الشحنتين r وأن إحدى الشحنتين q والأخرى Q-q فإن القوة بين الشحنتين

$$F = k\frac{\left(q(Q-q)\right)}{r^2} = k\frac{(Qq-q^2)}{r^2}$$

المتغير في هذه العلاقة q فقط وتكون القوة بين الشحنتين قصوى عندما يكون تفاضل القوة بالنسبة للشحنة المتغيرة q يساوي صفرا بمعنى

$$\frac{dF}{dq} = \frac{k}{r^2}(Q-2q) = 0$$

$$Q-2q = 0 \Rightarrow q = \frac{Q}{2}$$

و لكي تكون القوة قصوى يجب أن تقسم الشحنة Q إلى قسمين متساويين.

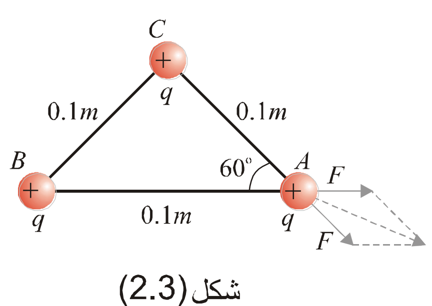
تمرين(2.3) وضعت شحنة q على منتصف الخط الذي يصل بين شحنتين مقدار كل منهما Q. اثبت أن منظومة الثلاث شحنات تكون في حالة اتزان عندما تكون

$$q = \frac{-Q}{4}$$

(متروك للطالب)

مثال(5.3) ثلاث شحنات نقطية متماثلة كل منها q وضعت كل واحدة عند رؤوس مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه ($10cm$).

إحسب القوة على كل شحنة؟



شكل(2.3)

الحـــل

نظراً لتساوي الشحنات والمسافة بينهما فإن القوة على أي منها متساوية أيضاً، وباخذ محصلة القوة المؤثرة على الشحنة عند النقطة A مثلاً:

$$F = k\frac{q^2}{r^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \frac{q^2}{(0.1)^2} \quad N$$

وبتطبيق قاعدة متوازي الأضلاع تكون المحصلة:

$$R = 2F\cos\left(\theta/_2\right)$$

$$= \frac{2(9\times10^9)q^2}{(0.1)^2}\cos 30 = \sqrt{3}\times 9\times10^{11}q^2 \quad N$$

مثال(6.3) إحسب القوة على وحدة الشحنة الموجبة عند نقطة على المحور (x) عند $x = 2cm$ الناتجة عن الشحنات التالية:

1. شحنة موجبة قدرها $10^{-9}C$ في الهواء عند نقطة الاصل؟

2. شحنة سالبة قدرها ($-2\times10^{-9}C$) عند $x=1m$ ؟

الحــل

قوة التنافر على وحدة الشحنة الناتجة عن الشحنة الموجبة عند نقطة الأصل:

$$F_r = k\frac{q_1q_2}{r^2} = \frac{9\times10^9(1\times10^{-9}\times1)}{2^2} = 2.25\ N$$

قوة التجاذب على وحدة الشحنة الناتجة عن الشحنة السالبة:

$$F_a = k\frac{q_1q_2}{r^2} = \frac{9\times10^9(2\times10^{-2})}{1^2} = 18\ N$$

محصلة قوة التجاذب على وحدة الشحنة:

$$R = F_a - F_r = 18-2.25 = 15.75\ N$$

مثال(7.3) إحسب المسافة التي تفصل إلكترونين (في الفراغ) بحيث كانت قوة التنافر بينهما مساوية لقوة الجاذبية المؤثرة على إحداهما عند سطح الأرض؟

الحــل

قوة الجاذبية على الإلكترون:

$$F_g = mg = (9.1\times10^{-31})(9.8)\ N$$

القوة الكهروستاتيكية بين الإلكترونين:

$$F_e = 9\times10^9\frac{e^2}{r^2} = \frac{9\times10^9(1.6\times10^{-19})^2}{r^2}$$

بمساوات القوتين نجد أن:

$$r = 5.08\ m$$

(تحقق من الناتج).

5.3 الجهـــــــــــد الكهربائي *the electric field* .

من المعروف أن للأرض مجال جذب *gravitational field* تجذب الأجسام نحو مركزها ، فعندما يُرفع الجسم فوق مستوي سطح الأرض *ground level* يملك طاقة وضع ميكانيكية مساوية لكمية الشغل الذي يبذل لرفع الجسم إلى المستوي الذي رُفع إليه.وكلما زاد ارتفاع الجسم من سطح الأرض كلما زادت طاقة وضعه.

وهكذا طاقة الجسم تعتمد على موضعه داخل مجال الأرض فتكون صفرا عند سطح الأرض ويؤخذ مستوى سطح البحر تعبيرا عن المكان الذي تكون عنده طاقة الوضع (الجهد) صفرا.

وكما أن للأرض مجال جذب فإن لكل شحنة لها مجال كهربائي يمتد نظريا إلى مالا نهاية وهو مجال جذب أيضا.

بأخذ شحنة معزولة $+q$ فـي الفـراغ الشكل (3.3) فإذا وضعنا شحنة اختبار مقدارها 1 كولوم عند ما لانهاية فـإن القوة المؤثرة عليها نتيجة للشـحنة $+q$ تساوي صفراً. أما إذا تحركت شحنة الاختبار نحو هذه الشحنة فأنها تؤثر عليهـا بقـوة تنافر وبذلك يلزم شغل لجلب شحنة الاختبار إلى نقطة مثل A . وهكذا عنـدما تصـبح شحنة الاختبار عند A يكون لها طاقة وضع كهربائي تسمى بالجهد الكهربـائي وكلمـا كانت النقطة قريبة من q يصبح الجهد أعلى عند هذه النقطـة. وهكـذا فـإن الجهـد الكهربائي عند نقطة نتيجة لشحنة يعتمد على موضع النقطة فيكون صفراً إذا وضعت

شكل (3.3)

الشحنة عند ما نهاية من النقطة. الجهد الكهربائي عند نقطة في مجـــال كهربـــائي هـــو مقدار الشغل المبذول لجلب وحدة الشحنة الموجبة من مالانهاية إلى تلك النقطة. أي أن:

الجهد الكهربائي = الشغل (W) \ الشحنة (q)

$$V = \frac{W}{q} \quad \dots \dots (4.3)$$

حيث W هو الشغل المبذول لجلب الشحنة q إلى موضع النقطة.

6.3 فرق الجهد الكهربائي *Electric potential difference*

يعتبر فرق الجهد من الناحية العملية أهم من الجهد المطلق، ويمكن تعريفه كالآتي:

- فرق الجهد بين نقطتين هو مقدار الشغل اللازم لتحريك وحدة الشحنة الموجبة من نقطة عند أقل جهد إلى نقطة أعلى جهداً:

$$P.D = V_2 - V_1 \quad \dots \dots (5.3)$$

ويتم حساب الجهد عند نقطة بصورة عامة من العلاقة

$$V = \frac{kq}{r} \quad \dots \dots (6.3)$$

حيث r المسافة بين الشحنة والنقطة وk سبق تعريفه ويجب ملاحظة النقطتين التاليتين:

- يتناسب الجهد عكسيا مع المسافة بين الشحنة والنقطة التي يُحسب عندها الجهد.
- الجهد كمية قياسية وبذلك يتعامل مع عدد من الجهود عند نقطة جبريا.

الجهد لكرة مشحونة

- **الجهد عند السطح:**

نتيجة للتماثل الكُري للمجال يمكن تصور الشحنة مركزةّ عند مركز الكرة وعليه تستخدم المعادلة السابقة مباشرةً لحساب الجهد الكهربائي.

- **الجهد خارج الكرة:**

بفرض أن المسافة من سطح الكرة إلى النقطة المطلوب عندها حساب الجهد d وبذلك ستكون المسافة من المركز إلى هذه النقطة $r + d$ والجهد

$$V = \frac{kq}{r+d} \quad \ldots\ldots (7.3)$$

- **الجهد داخل الكرة:**

حيث أنه لا يوجد فيض كهربائي داخل الكرة وبالتالي الشدة الكهربائية داخلها تساوي صفرا وكما عرفنا سابقا أن شدة المجال الكهربائي هي عبارة عن التغير في الجهد مقسوما على المسافة إذاَ في هذه الحالة التغيير في الجهد يساوي صفراً

change in potential = 0 ويترتب على ذلك أن كل النقاط داخل الكرة لها نفس الجهد مثل النقاط التي على سطح الكرة.

7.3 امثلـــــة:

مثال(8.3) شحنة نقطية ($1\mu C$) وضعت بين نقطتين A وB تبعد عن A مترين وعن B مترا ما مقدار فرق الجهد (الشحنة في الهواء)؟

الحـــل:

بتطبيق مباشر للمعادلة

$$V = Kq/r$$

نحسب الجهد $V_A = 4.5\times10^3\ V$

وبالمثل نحسب الجهد $V_B = 9\times10^3\ V$

ثم نحسب الفرق بينهما $V_A - V_B = -4.5\times10^3\ V$

مثال(9.3) شحنتان نقطيتاّن ($1.6\ nC, 1.2\ nC$) والمسافة بينهما ($10cm$) .احسب الشغل اللازم لتقريب الشحنتين من بعضهما البعض مسافة ($4cm$)؟

الحــل:

بفرض أن الشحنة $1.6\ nC$ ثابت، نحسب أولاً الجهد عند النقطة $10\ cm$ من هذه الشحنة كما في المثال السابق ثم نحسب الجهد عند النقطة $6cm$ من هذه الشحنة بنفس الطريقة ثم نحسب الفرق في الجهد نجد انه يساوي $96V$ (على الطالب تحقيق النتيجة).
من العلاقة بين الشغل والشحنة وفرق الجهد

$$W = q\times P.D = 1.2nC\times 96V = 11.52\times 10^{-8}\ J$$

مثال(10.3) مربع ABCD كل من أضلاعه $1m$ وضُعت الشحنات النقطية ($+0.01\mu C,-0.02\mu C,+0.03\mu C,+0.02\mu C$) عند رؤوس المربع ABCD على الترتيب من اليسار إلى اليمين.احسب الجهد عند مركز المربع؟

الحــل:

من خواص المربع يكون مركزه عند تقاطع قطريه وبذلك تكون المسافة بين كل شحنة والمركز $r = 0.\ 707m$ (على الطالب تحقيق ذلك) ومن هنا يتم حساب الجهد عند المركز بالجمع الجبري للجهود الناتجة عن الشحنات وحيث أن المسافة متساوية من المركز إلى كل شحنة فإنه يمكن التعبير عن ذلك بالصيغة الآتية:

$$V = kq/r$$

$$V = \frac{k}{r}(q_1 + q_2 + q_3 + q_4) = 509.2\ V$$

مع مراعاة الشحنات الموجبة والسالبة عند الجمع (متروك للطالب).

مثال(11.3) كرة مجوفة *hollow sphere* تم شحنها بشحنة ($12\mu C$).احسب الجهد:

أ. عند سطح الكرة؟

ب. داخل الكرة ؟

ج. خارجه وعلى بعد $0.3m$ من سطحها علما بأن نصف قطر الكرة $0.1m$؟

الحــل:

بنفس الطريقة التي استخدمت في الأمثلة السابقة بتطبيق العلاقة

$$V = kq/r$$

عند الحالة الأولى والثانية لأن الجهد داخل الكرة متساو داخل الكرة عند كل النقاط ويساوي الجهد عند السطح وبالتعويض بالقيم العددية نجد أن الجهد في كلا الحالتين

$$V=108\times10^4 V$$

أما في الحالة الثالثة تحسب المسافة من المركز إلى النقطة الخارجية (نصف القطر +بعد النقطة عن السطح) ثم تطبق العلاقة:

$$V = \frac{kq}{r+d} = 27\times10^4\ V$$

مثال(12.3) مثلث قائم الزاوية أبعاده $3d$ و $4d$ و $5d$ وضعت الشحنة $10q$ على بعد $4d$ من الشحنة $8q$ وعلى بعد $3d$ من الشحنة $-5q$ إحسب طاقة الجهد الكهرائية (الشغل) للمنظومة؟

شكل (4.3)

الحــل:

$$W_{12} = k\frac{q_1q_2}{d} = k\frac{10q(-5q)}{3d} = \frac{k(-50q^2)}{3d}$$

$$W_{13} = k\frac{q_1 q_3}{4d} = \frac{k(-20q^2)}{d}$$

$$W_{23} = k\frac{q_2 q_3}{5d} = \frac{k(-8q^2)}{d}$$

$$W_{total} = W_{12}+W_{13}+W_{23}$$

$$W_{total} = -k\frac{14q^2}{3d}$$

مثال(13.3) إحسب فرق الجهد بين النقطتين A,B حيث تبعد كل منهما على شحنة q مسافة $3r$ و$2r$ على الترتيب معبراً عن فرق الجهد بالعلاقة:

$$\frac{kq}{r}$$

الحــل:

$$V_A = \frac{kq}{3r} \quad , V_B = \frac{kq}{2r}$$

$$V_{AB} = V_B - V_A = k\left(\frac{q}{2r} - \frac{q}{3r}\right)$$

$$V_{AB} = \frac{kq}{r}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) = \frac{kq}{6r}$$

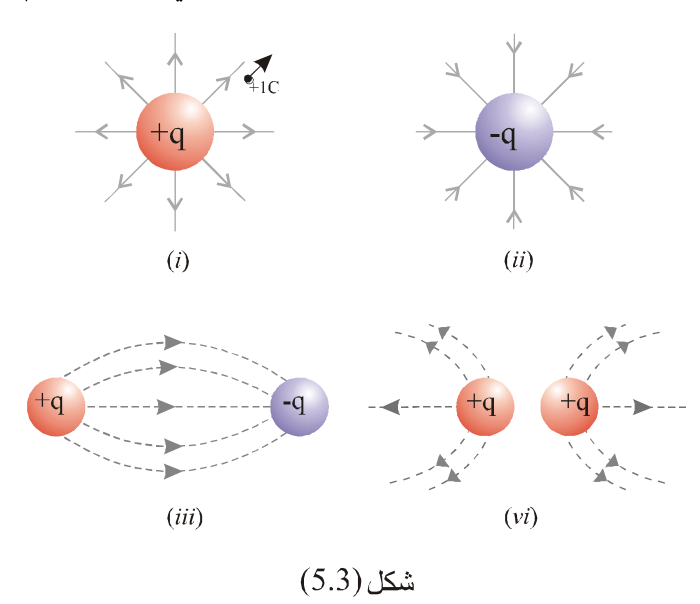
8.3 المجـــــــــــال الكهربائي *Electrical Field*

المنطقة المحيطة بجسم مشحون دائما تكون تحت تأثير الإجهاد والانفعال نتيجة للشحنة الكهروستاتيكية، فإذا وضعت شحنة صغيرة في هذه المنطقة فإنها تتأثر بقوة حسب قانوني كولوم. وهذه المنطقة المتوترة *stressed* حول جسم مشحون تسمى المجال الكهربائي.ونظرياً يمتد المجال الكهربائي الناتج عن شحنة إلى مالا نهاية ولكن عمليا

يتلاشى سريعا عند زيادة المسافة من موقع الشحنة.

إذا المجال الكهربائي هو الفراغ *space* الذي تظهر فيه القوة الناتجة عن الشحنة.

ويمثل المجال الكهربائي الذي يحيط بجسم مشحون بخطوط طولية تسمى خطوط القوى الكهربائية (جاءت هذه التسمية لأن القوى كانت نتيجة لتأثير الشحنات في هذه المنطقة) . أما اتجاه هذه القـوى تعارف عليه اصطلاحا *convection* بـأن يكون في اتجاه وحـدة الشحنة الموجبـة *unit positive charge* (يعني شـحنة موجبـة مقدارها 1C) موضوعة عند نقطـة تتحـرك أو تميل للحركة، وبعـض المراجع تسـمي هـذه الشحنة بشحنة الاختبار *test charge* لأنها تستخدم كمؤشر لتعيين المجال الكهربائي ، وطبقا لهذا الاصطلاح فإن خطوط القوى الكهربائية يجب أن يبـدأ مصـدرها مـن الشحنة الموجبة وتنتهي عند الشحنة السالبة وخطوط القوى الكهربائية تخـرج مـن أو تدخل إلى السطح المشحون عموديا.



شكل (5.3)

الشكل (5.3) يبين توزيعا نموذجيا للمجال *typical distribution* ، فالشكل (5*i*.3) يبين المجال الكهربائي الناتج عن كرة مشحونة بشحنة موجبة وضع بالقرب منها وحدة الشحنة الموجبة تؤثر عليها بقوة تتجه قطريا بعيدا عن الكرة المشحونة وبهذا يكون اتجاه المجال الكهربائي قطريا إلى الخارج *radially outward* . أما بالنسبة للكرة

التي تحمل شحنة سالبة الشكل(5*ii*.3) فإن القوة المؤثرة على وحدة الشحنة الموجبة تكون قطريا نحو الكرة *radially towards the sphere*، والشكل (5*iii*.3) يبين المجال الكهربائي بين الشحنة الموجبة والسالبة ، وكذلك الشكل (5*iv*.3) يبين المجال الكهربائي بين شحنتين متشابهتين (جسمان مشحونان بشحنة موجبة).

9.3 خواص خطوط القوى الكهربائية *properties of electric lines force*

1. خطوط المجال الكهربائي تتجه مبتعدة من الشحنة الموجبة متجهة نحو الشحنة السالبة، وبذلك عند أي نقطة لمماس خط المجال يعطي اتجاه المجال عند تلك النقطة.
2. تبدأ خطوط القوى الكهربائية من الشحنة الموجبة وتنتهي عند الشحنة السالبة.
3. خطوط القوى الكهربائية تخرج من أو تدخل إلى السطح المشحون عموديا.
4. خطوط القوى الكهربائية لا يمكنها المرور عبر الموصل، وهذا يعني أن المجال الكهربائي داخل الموصل يساوى صفرا بينما تستطيع هذه الخطوط المرور خلال العازل.
5. لا يمكن لخطوط القوى الكهربائية أن تتقاطع (لماذا؟).
6. لخطوط القوى الكهربائية ميل للانكماش *contract* في الطول وهذا يفسر التجاذب بين جسمين مشحونين بشحنتين مختلفتين.
7. لخطوط القوى الكهربائية ميل للتمدد *expand* العرضي *lateral* بمعني أنها تميل للانفصال عن بعضها البعض في اتجاه عمودي على أطوالها وهذا يفسر التنافر بين الشحنتين المتشابهتين.

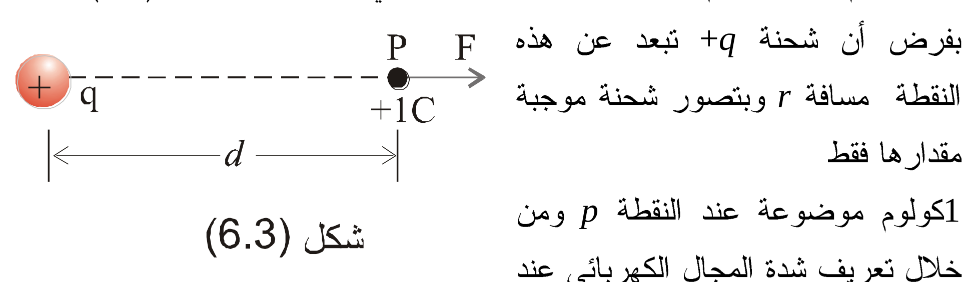
10.3 الشدة الكهربائية أوشدة المجال *Electric Intensity or Field Strength (E)*

لكي نتصور المجال الكهربائي يجب وصف شدته أو قوته. فشدة المجال الكهربائي عند أي نقطة تعرف بالقوة المؤثرة على وحدة الشحنة الموجبة الموضوعة عند تلك النقطة. واتجاهه في نفس اتجه القوة. بمعنى أن شدة المجال الكهربائي عند نقطة:

$$E = \frac{F}{+q} \quad \left[\frac{N}{C}\right] \quad \ldots\ldots (8.3)$$

حيث: q الشحنة بالكولوم موضوعة عند تلك النقطة و F القوة بالنيوتن المؤثرة على الشحنة، وحيث أن القوة كمية فيزيائية متجهة فإن المجال الكهربائي E هو أيضا متجه، ويعبر عن شدة المجال الكهربائي أيضا بخطوط القوة فعندما تكون خطوط القوة قريبة من بعضها البعض تكون شدة المجال عالية بينما تكون شدة المجال منخفضة إذا كان الفاصل بين خطوط القوة متسعا. ويعبر أيضا عن وحدة شدة المجال الكهربائي بوحدة فولت/متر V/m.

ويستخدم قانونا كولوم لحساب شدة المجال الكهربائي عند نقطة p شكل (6.3)



شكل (6.3)

بفرض أن شحنة $+q$ تبعد عن هذه النقطة مسافة r وبتصور شحنة موجبة مقدارها فقط 1كولوم موضوعة عند النقطة p ومن خلال تعريف شدة المجال الكهربائي عند p بأنه القوة المؤثرة على $+1C$ تم وضعه عند النقطة P فإن شدة المجال الكهربائي عند النقطة p هي:

$$E = Force\ on\ +1C\ \ at\ p$$

بمعنى أنه القوة المؤثرة على1 كولوم عند النقطة p

$$E = 9 \times 10^9 \frac{q \times 1}{\varepsilon_r r^2}$$

ويلاحظ أن اتجاه شدة المجال قطريا *radially* مبتعدا عن $+q$ ، أما إذا كانت الشحنة سالبة فإن اتجاه شدة المجال تكون قطريا نحو $-q$

11.3 أمثلـــــــة

مثال(14.3) شحنتان مختلفتان في النوع متساويتان في المقدار $2\times10^{-7}C$ والمسافة بينهما $15cm$. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند نقطة في منتصف المسافة بينهما؟ وما القوة المؤثرة على بروتون $+1.6\times10^{-19}C$ موضوع عند هذه النقطة؟

A B M q_1 q_2 15cm

شكل(7.3)

الحـــل:

1. شكل (7.3) يبين شحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع تفصلهما مسافة $0.15m$ وبوضع M في منتصف المسافة بينهما $AM = MB = 0.075m$. أولا بتصور شحنة مقدارها $+1C$ موضوعة عند النقطة M فتكون شدة المجال عند M الناتج عن الشحنة $+2\times10^{-7}C$ هو:

$$E_1 = 9\times10^9\frac{(2\times10^{-7})}{(0.075)^2} = 0.32\times10^6\ \frac{N}{C}$$

في اتجاه AM أما شدة المجال الكهربائي عند M الناتج عن الشحنة $-2\times10^{-7}C$ هو:

$$E_2 = 9\times10^9\frac{(2\times10^{-7})}{(0.075)^2} = 0.32\times10^6\ \frac{N}{C}$$

في اتجاه MB وحيث أن شدتي المجالين تؤثران في نفس الاتجاه فإن محصلتهما هي مجموع E_1 و E_2 وبذلك تكون المحصلة عند M هي

$$E = E_1 + E_2 = 0.64\times10^6\ N/C$$

والقوة التي تؤثر على البروتون هي:

$$F = qE = (0.64\times10^{6})(1.6\times10^{-19}) = 1.024\times10^{-13}\ N$$

على امتداد AB.

مثال(15.3) قطرة زيت مشحونة كتلتها $5\times10^{-15}\ kg$ وضعت بين لوحين المسافة بينهما $25mm$ وفرق الجهد بينهما $1000V$ بحيث بقيت القطرة مستقرة بين اللوحين.عيّن الشحنة التي تحملها القطرة؟ ($g = 10\ m/s^2$).

الحــل:

بفرض أن الشحنة التي تحملها القطرة q وحيث أن القطرة بقيت مستقرة فإن القوة المؤثرة على القطرة إلى أعلى تساوي وزن القطرة إلى أسفل

$$qE = mg$$

ولكن

$$E = V/d$$

حيث d المسافة بين اللوحين.

وبذلك فإن:

$$E = \frac{1000}{25\times10^{-3}} = 4\times10^{4}\ \frac{V}{m}$$

ومن المعادلة( ) يمكن حساب مقدارالشحنة التي تحملها القطرة

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{(5\times10^{-15})\times10}{4\times10^{4}} = 1.25\times10^{-18}\ C$$

مثال(16.3) كرة معدنية مجوفة قطرها $60cm$، تحمل شحنة مقدارها $500\mu C$.

احسب شدة المجال الكهربائي:

أ. عند مسافة $100cm$ من مركز الكرة؟

ب. عند سطح الكرة؟

الحـــل:

يوجد تماثل كُري *spherical symmetry* للمجال الكهربائي الناتج عن كُرة مشحونة وبذلك فإن الكرة المشحونة تتصرف مع النقاط الخارجية كما لو كانت الشحنة الكلية موضوعة عند المركز:

أ. $E = 4.5\times10^6\ N/C$.

ب. $E = 5\times10^7\ N/C$. **(حقق النتائج)؟**

مثال(17.3) إذا كان المجال الكهربائي الناتج عن الشحنة q والتي تبعد عن نقطة p مسافة $2d$ مساوياً للمجال الكهربائي الناتج عن q' والتي نبعد عن النقطة p مسافة قدرها d .عين الجهد الكهربائي عند النقطة p؟

الحـــل:

$$E_p = k\frac{q}{4d^2} = k\frac{q'}{d^2}$$

كلاهما موجب $q' = 4q$

$$V_q = k\frac{q}{2d}$$

$$V_{q'} = k\frac{q'}{d}$$

مجموع الجهود عند النقطة p :

$$V_p = V_q + V_{q'} = \frac{kq}{2d} + \frac{4q}{d}$$

$$V_p = \frac{kq}{d}\left(\frac{1}{2} + \frac{8}{2}\right) = 4.5\frac{kq}{d}$$

12.3الفيض الكهربائي *Electric Flux*

بصورة عامة تعبر كلمة فيض عن معدل أي شيء يمر خلال سطح. فمثلا المعدل الذي ينساب به الماء خلال مساحة مقطع الأنبوب يمكن أن يصف فيض الماء. وفي هذه الحالة الفيض هو كمية الماء التي تمر خلال الأنبوب في وحدة الزمن. وبنفس الطريقة يعرف الفيض الكهربائي. فبأخذ سطح مساحته A في مجال كهربائي منتظم *uniform* ويعبر عنه في الشكل $(8i.3)$ بالمسافات المتساوية بين الخطوط ، وعدد الخطوط التي تمر بالسطح تمثل الفيض الكهربائي ويعبر عن قوة المجال الكهربائي بتقارب الخطوط من بعضها البعض.

أما في حالة تدوير السطح بحيث لا يبقى عموديا على المجال الكهربائي كما في الشكل $(8ii.3)$ يلاحظ أن عدد الخطوط أصبح قليلا، وفي هذه الحالة ينقص الفيض الكهربائي حتى لو مر بنفس المساحة.

ويعرف الفيض الكهربائي ϕ_E خلال سطح مساحته A عموديا على مجال كهربائي E بأنه حاصل ضرب الكميتين A و E بمعني $\phi_E =$ EA وهكذا تكون

شكل (8.3)

وحدة الفيض الكهربائي هي Nm^2/C. أما إذا أُزيحت نفس المساحة بزاوية θ كما في الشكل (8.3) حيث يلاحظ النقص في عدد الخطوط التي تمر عبر مساحة السطح وفي هذه الحالة يكون الفيض الكهربائي حاصل ضرب مسقط مساحة السطح العمودي على المجال E ويعبر عنه بالصيغة العامة لحساب الفيض الكهربائي:

$$\emptyset_E = EA_{\perp} = EA\cos\theta \quad \dots\dots (9.3)$$

ويكون للفيض الكهربائي قيمة قصوى عندما يكون السطح عموديا على المجال EA ويكون صفرا عندما يكون السطح موازيا للمجال.

13.3 كثافة الفيض الكهربائي *Electric Flux Density*

تعرف كثافة الفيض عند أي مقطع في مجال كهربائي بأنها الفيض الكهربائي الذي

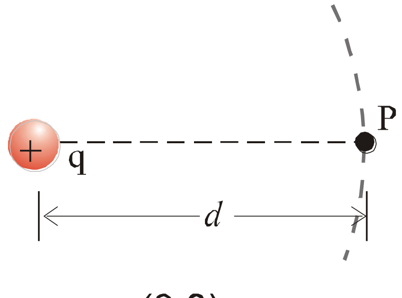
يعبر عموديا وحدة المساحة لذلك المقطع. ويمكن التعبير عن كثافة الفيض بالصيغة:

$$D = \frac{\emptyset_E}{A} \quad \dots\dots (10.3)$$

ووحدتها في النظام SI هي C/m^2 وهي كمية متجهة باتجاه شدة المجال.

العلاقة بين D و E *Relation between D and E*

بأخذ شحنة موجبة $+q$ في وسط سماحيته النسبية ε_r ولحساب الفيض الكهربائي عند النقطة p تبعد عن هذه الشحنة مسافة d الشكل (9.3). وبفترض وجود كرة تخيلية تقع الشحنة في مركزها. يمر الفيض الكهربائي لهذه الشحنة خلال هذه الكرة التخيلية



شكل (9.3)

والتي مساحتها $4\pi d^2$ وبذلك تكون كثافة الفيض عند النقطة p هو:

$$D = \frac{flux}{area} = \frac{q}{4\pi d^2} \quad \dots\dots (11.3)$$

أما شدة المجال الكهربائي E هي:

$$E = \frac{q}{4\pi r^2} \times \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \quad \Rightarrow \quad D = \varepsilon_0 \varepsilon_r E \quad \dots\dots (12.3)$$

14.3 أمثلـــــة

مثال(18.3) في مجال كهربائي للوحين متوازيين لمكثف هوائي كانت قيمتا كل من D و E على الترتيب ($0.885\mu C/m^2$, $10^5 N/C$) فإذا كانت مساحة كل من اللوحين $1m^2$ احسب:

أ. كثافة الفيض الكهربائي؟

ب. القيمة المطلقة لنفاذية الفراغ؟

الحـــل:

أ. كثافة الفيض الكهربائي:

$$\emptyset_E = DA = (0.885 \times 10^{-6})\,(1) = 0.885 \times 10^{-6}\ C$$

حيث أن السماحية النسبية للهواء 1

ب.القيمة المطلقة لنفاذية الفراغ ε_0:

$$D = \varepsilon_0 E$$

وبذلك

$$\varepsilon_0 = D/E = (0.885\times10^{-6})/10^5 = 8.85\times10^{-12}\ F/m$$

مثال(19.3) لوحان متوازيان شُحنا حتى أصبح فرق الجهد بينهما $100V$ فإذا كانت مساحة كل منهما $0.05m^2$ وكانت المسافة بينهما $0.5mm$. احسب الشحنة الكهربائية على كل من اللوحين؟

الحـــل:

شدة المجال الكهربائي:

$$E = V/d = 100/(0.5\times10^{-3}) = 2\times10^5\ V/m$$

كثافة الفيض:

$$D = \varepsilon_r\, \varepsilon_0\, E = (8.85\times10^{-12})\times1\times2\times10^5 = 17.7\times10^{-7}\ C/m^2$$

الشحنة على كل لوح:

$$q = DA = (17.7\times10^{-7})\,(0.05) = 0.885\times10^{-7} C$$

15.3 قانون جاس *Gauss Law*

في هذا القانون يمكن حساب الفيض الكهربائي لأي سطح مغلق عن طريق التعريف السابق في الفقرة (17.3) حيث الفيض يساوي الشحنة الكهربائية التي يحتويها السطح $\varphi = Q$ وهذا يعني أن الفيض الكهربائي الكلي الموزع على سطح يساوي الشحنة التي بداخله وهذا ما يُسَمَّى بقانون جاوس.

وينص هذا القانون على أن " **التكامل السطحي لمركبة كثافة الفيض العمودية على سطح مغلق تساوي الشحنة التي بداخل هذا السطح**" ويعبر عن ذلك رياضيا بالصيغة الآتية:

$$\iint D.dA = q \quad \ldots\ldots (12.3)$$

وعند تطبيق قانون جاوس ليس من المهم أخذ شكل السطح وموقعه في الاعتبار ولكن يُشترَطُ في السطح ما يلي :

- يجب أن يكون السطحُ مغلَقًا.
- عند أي نقطة على السطح يجب أن يكون D عموديا *normal* أو مماسًّا للسطح *tangential*.
- يجب أن يكونَ لكثافة الفيض D نفس القيمة عند كل نقطة على السطح حيث D يكون عموديا.

ويحل قانون جاوس جميع المسائل المعقدة فهو أكثر شمولية من قانون كولوم الذي يُعتبَر حالةً خاصةً منه. ونذكر فيما يلي بعضًا من تطبيقاته :

أ. المجال الناتج عن كُرَةٍ مشحونةٍ كثافة شحنتها σ:

بأخذ كرة نصف قطرها r وعلى سطحها شحنة كثافتها C/m^2 σ موضوعةً في الهواء حيث:

الفيض الكلي = الشحنة الكلية = $\sigma(4\pi r^2)$ C .

أما كثافة الفيض D عند مسافة $R > r$ هي:

$$D = \frac{\sigma(4\pi r^2)}{4\pi R^2} = \frac{\sigma r^2}{R^2} \quad \ldots\ldots (13.3)$$

$$E = \frac{D}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma r^2}{\varepsilon_0 R^2} \quad \ldots\ldots (14.3)$$

ويُلاحظ هنا أنه عندما تتوزع الشحنة على سطح كُرة فإن الكُرةَ تتصرف كما لو كانت الشحنةُ مركَّزَةً عند مركزها.وعندما $R < r$ فإن كل من D و E يساويان صفراً. لماذا؟

ب. المجال الناتج عن موصل خطي كثافة شحنته الخطية λ *C/m*.

بأخذ موصل لا نهائي *infinitely long conductor* يتم حساب كثافة الفيض والمجال الكهربائي في هذه الحالة بالتعامل مع عنصر صغير من الطول *dl* ويتم اختيار سطح جاوس بإحاطة الموصل باسطوانة نصف قطرها *r* وطولها *dl*.المجال متماثل كُريًّا *circularly symmetric* حول الموصل في مستوٍ عموديٍّ على مقطع الخط.

من خلال تعريف كثافة الفيض والمجال السابقين يتم حساب كل منهما لهذا النوع من الموصلات عند نصف قطر الاسطوانة *r* (السطح الجاوسي):

$$D_r = \frac{\lambda . dl}{2\pi r dl} = \frac{\lambda}{2\pi r} \quad \dots \dots (15.3)$$

$$E_r = \frac{D}{\varepsilon_0} = \frac{\lambda}{2\pi \varepsilon_0 r} \quad \dots \dots (16.3)$$

وللحديث عن تطبيقات قانون جاوس نكتفي بهذا القدر مراعاة لمستوى الطالب في مقرر الرياضيات ولمن يريد المزيد من الإطلاع على التطبيقات يرجع للمراجع المذكورة في آخر الكتاب.

16.3 جهد الانهيار أو قوة العزل *Breakdown voltage or Dielectric Strength*

في كل المواد العازلة ترتبط إلكترونات التكافؤ بحيث لا توجد إلكترونات حرة يمكن أن ينتج عنها تيار توصيل *conduction current*.

ولكن عند تسليط جهد على العازل تدريجيا حتى يصل قيمة عندها تبتعد الإلكترونات من رابطة النواة وينساب تيار خلال العازل، ويفقد العازل خاصية العزل وهذا التيار عادة شرارة *spark* ينتج عنها احتراق في المادة.

والجهد اللازم لإزالة خاصية العزل من العازل يسمى جهد الانهيار أو قوة العزل ، ويقاس بوحدة *kV/cm* أو *kV/mm* مثلا للهواء قوة عزل 30 *kV/cm* هذا يعني أن أقصى فرق جهد يمر عبر هواء سمكه 1*cm* دون أن يزال عزله هو 30 *kV* ، أما إذا زاد فرق الجهد عن هذه القيمة تُزال خاصية عزله ويسمح بتيار كبير خلاله.

فيما يلى جدولا يوضح ثابت العزل(السماحية النسبية ε_r) وقوة العزل لبعض العوازل:

المادة العازلة	ثابت العزل ε_r	قوة العزل (kV/cm) *Dielectric Strength*
الهـــواء air	1	30
الورق paper	**2**	**400**
بارفين paraffin	2.25	3500
ميكا mica	**6**	**500**
زجاج glass	8	1000

ويلاحـــظ عند دراسة العوازل:

- تعتمد قوة العزل على درجة الحرارة والرطوبة وشكل العازل الهندسي
- كل من شدة المجال ومنحدر الجهد (الجهد لوحدة المسافة) وقوة العزل متساوية عدديا لنفس العازل.

استخدامات العوازل

تُستخدم العوازل على نطاق واسع لتعطي عزلاً كهربائياً للأجهزة الكهربائية والإلكترونية،ويعتمد اختيارالعازل على متطلبات الخدمة. وسنذكر هنا بعضا من الحالات على سبيل المثال:

- إذا كان العازل يتعرض إلى حرارة كبيرة مثال لحام الحديد أو الأفران تستخدم الميكا *mica*.

- إذا كانت قوة العزل معتدلة كما في المكثفات الصغيرة يستخدم السيلولوز *cellulose* أو النسيج الحيواني *animal tissue*.
- في حالة الحاجة لعازل ذو قوة عزل عالية كما في محولات الجهد العالي يُستخدم الزجاج *glass* والبرسلين *porcelain* .
- تُستخدم أنواع مختلفة من الزيوت في حالة الحاجة لعازل سائل كما في مفاتيح التحكم الكبيرة *control switches*.

17.3 أمثلـــــة

مثال(20.3) لوحان متوازيان كل منهما أبعاده ($10cm\times10cm$) يفصل بينهما مادة عازلة سمكها ($1mm$). فإذا كان فرق الجهد بين اللوحين ($8000V$) والشحنة على كل منهما ($4\mu C$) احسب:

1. كثافة الفيض الكهربائي بين اللوحين؟
2. السماحية النسبية للعازل؟

الحـــل:

مساحة اللوح $A = 0.01m^2$

كثافة الفيض $D = \varphi / A = 4\times10^{-4}\ C/m^2$

شدة المجال الكهربائي تساوي عدديا منحدر السرعة:

$$E = V/d = 8\times10^{6}\ V/m$$

السماحية النسبية $\varepsilon_r = d/\varepsilon_0 E = 5.65$ (بعد التعويض)

مثال(21.3) مكثف ذو لوحين متوازيين المسافة بين لوحيه ($1mm$) والمادة العازلة بينهما ذات سماحية نسبية (3.39) احسب:

1. شدة المجال؟

2. الجهد بين لوحيه إذا كانت الكثافة السطحية للشحنة ($3\times10^{-4}\ C/m^2$)؟

الحـــل

كثافة الشحنة السطحية تساوي كثافة الفيض الكهربائي:

$$E\,\frac{D}{\varepsilon_o\varepsilon_r}=\frac{3\times10^{-4}}{8.85\times10^{-12}\times3.39}=10^{7}\ V/m$$

بالتعويض عن

$$\varepsilon=\varepsilon_0\ \varepsilon_r=8.85\times10^{-12}\times3.39=30.0015\ pF/m$$

فرق الجهد بين اللوحين

$$P.D=V=Ed=10^{4}\ V$$

مثال(22.3) يلزم طاقة مقدارها ($24\ mJ$) لنقل شحنة ($+400\ \mu C$) من سطح موجب إلى سطح سالب المسافة بينهما ($15\ mm$).ما فرق الجهد بين السطحين المشحونين؟ و ما شدة المجال الكهربائي في المنطقة الواقعة بين السطحين؟

الحـــل:

الطاقة اللازمة لنقل الشحنة الموجبة تساوي الشغل المبذول على الشحنة ويكون فرق الجهد بين السطحين المشحونين:

$$V=\frac{W}{Q}=60\ V$$

وتكون شدة المجال الكهربائي

$$E=\frac{V}{d}=4000\ V/m$$

18.3 مســائل

1.3 كرتان من النحاس المسافة بين مركزيهما $50cm$ فإذا كان على كل منهما شـــحنة مقدارها $6.5\times10^{-7}C$،ما مقدار قوة التنافر المتبادلة بينهما؟ بإهمـــال نصـــفي قطـــري الكرتين مقارنة بالمسافة بينهما. ما مقدار القوة بينهما إذا وضعت الكرتان فـــي المـــاء؟ ثابت العزل للماء $\varepsilon_r = 80$

الجواب$(1.52\times10^{-2}N, 1.9\times10^{-4}N)$

2.3 شحنتان q_1 و q_2 تقعان على المحور x عند النقطتين $x = -4cm$ و $x = 4cm$ على الترتيب كيف تكون العلاقة بينهما إذا كانت القوة الكهروستاتيكية على شحنة تقع عند $x = +2cm$ تساوي صفرا؟

الجواب $(q_1 = 9\, q_2)$

3.3 كرتان صغيرتان متساويتان في الحجم المسافة بينهما $10cm$ في الهواء تحمل احدهما شحنة $+1\mu C$ والأخرى $-3\mu C$ أين يجب أن توضع شحنة ثالثة بحيث تنعدم القوة المؤثرة عليها؟

الجواب ($24cm$ من الشحنة $-3\mu C$)

4.3 كرتان متماثلتان مختلفتان في المقداروالنوع كانت المسافة بينهما $90cm$. وبعد المس المتبادل بينهما تم فصلهما بنفس المسافة حيث أصبحت قوة التنافر بينهما $0.025N$. احسب الشحنة على كل منهما؟

الجواب $(1.5\mu C)$ على كل منهما

5.3 كرتان صغيرتان كتلة كل منهما $0.05g$ عُلقتا بخيط من نقطة واحدة. وعندما شُحنت الكرتان بشحنتين متساويتين انفصل الخيط إلى جزأين بينهما 10^0 ما مقدار قوة

التنافر التي تؤثر بها كل منهما على الأخرى؟

الجواب $(4.3\times10^{-5}N)$

6.3 ثلاث شحنات نقطية مقدار كل منها $2\ nC$ وضُعت كل منها على الأركان الثلاثة لمربع طول ضلعه $20cm$ احسب مقدار القوة المؤثرة على شحنة مقدارها $-1\ nC$ موضوعة عند مركز المربع؟

الجواب $(9\times10^{7}N)$

7.3 إذا كانت قوة التنافر الكهروستاتيكية بين أيونيين موجبين لهما نفس مقدار الشحنة وتفصلهما مسافة $5A^0$ هي $3.7\times10^{-9}N$. فكم إلكترونا يفقد من كل أيون؟
$(A^0 = 10^{-10}m)$

الجواب(2)

8.3 وضعت شحنتان مقدارهما q_1 عند رأسي مربع طول ضلعه $(1m)$ ثم وضعت شحنتان مقدارهما q_2 عند رأسي المربع الآخرين في الفراغ:

أ. عين العلاقة بين q_1 و q_2 إذا كانت محصلة القوة المؤثرة على q_1 صفراً؟

ب. هل تتغير هذه العلاقة إذا كان طول ضلع المربع $2m$ ؟

جـ. هل إختيار q_2 بحيث تكون محصلة القوة على كل شحنة صفراً؟

الجواب(أ. $q_1 = -2\sqrt{2}q_2$، ب،جـ (لا))

9.3 إحسب القوة الكهروستاتيكية بين شحنتين موجبتين مقدار كل منهما $(1.6\times10^{-19}C)$، والمسافة بينهما $(4\times10^{-15}m)$؟

10.3 كرة نصف قطرها $0.1m$ شحنتها $50\ nC$ عين الجهد عند:

- عند سطح الكرة ؟
- داخل الكرة؟
- عند نقطة تبعد $1m$ من السطح؟

الجواب($4500V, 4500V, 409V$)

11.3 مربع ABCD طول ضلعه $1m$ وُضعت الشحنات ($+0.02\mu C, +0.04\mu C, +0.06\mu C, +0.02\mu C$) عند (A,B,C,D)على الترتيب من اليسار إلى اليمين.عين الجهد عند مركز المربع؟

الجواب ($1000V$)

12.3 ما مقدار الشحنة الموجبة المعزولة اللازمة لتعطي جهدا ($100V$)عند نقطة ($10cm$) من هذه الشحنة؟

الجواب ($1.11\ nC$)

13.3 تلزم قوة ($0.032N$) لتحريك شحنة فى مجال كهربائي بين نقطتين المسافة بينهما ($25cm$). ما فرق الجهد بين النقطتين ؟

الجواب ($190V$)

14.3 فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي يساوي ($6V$) ما مقدار الشغل اللازم لتحريك شحنة ($300\ \mu C$) بين هاتين النقطتين ؟

الجواب ($1.8\ mJ$)

15.3 شحنة ($-0.45\ \mu C$) تم جلبها من نقطة بعيدة إلى كرة معدنية مشحونة ما مقدر جهد الكرة إذا كان الشغل المبذول ($1.8\ mJ$)؟

الجواب ($4kV$)

16.3 قطرة ماء كُرِية الشكل تحمل شحنةً مقدارها $3pC$ وعلى سطحها جُهد مقداره $500\ V$.

أ. ما مقدار نصف قطر الكرة؟

ب. إذا أتحدت معها قطرة أخرى لها نفس الشحنة ونصف القطر ليكوّنا معا قطرة واحدة. ما مقدار الجُهد على القطرة الجديدة؟

الجواب ($54\ \mu m$, $790V$)

17.3 كرة تحمل شحنة قدرها ($8nC$) عند أي مسافة من مركزها يكون الجهد $100V$؟

18.3 حلقة نصف قطرها R توزعت على محيطها شحنة قدرها q .ماهو فرق الجهد بين نقطة عند مركزها ونقطة على محورها تبعد $2R$ من المركز؟

19.3 ما عدد الإلكترونات على جسم ينتج جهداً عند نقطة تبعد عنه $0.3m$ مقداره $7.5kV$؟

20.3 وضُعت شحنة $2\mu C$ في مجال كهربائي يؤثر عليها بقوة مقدارها $0.08N$. ما مقدار شدة المجال الكهربائي ؟

الجواب ($4\times10^4\ N/C$)

21.3 وضُعت شحنة $0.52\mu C$ في مجال كهربائي شدته $4.5\times10^5\ N/C$. ما مقدار القوة التي تؤثر على الشحنة؟

الجواب ($0.23N$)

22.3 ما مقدار شحنة نقطية وضعت على بعد $20cm$ من مجال شدته $18\times10^6\ N/C$؟

الجواب ($80\mu C$)

23.3 شحنتان نقطيتان $0.12\mu C$ و$0.06\mu C$- المسافة بينهما$3cm$ في الهواء. احسب شدة المجال الكهربائي في نقطة بينهما عند منتصف الخط ***midway*** الذي يربط بينهما.
الجواب (720N/C ,***towards –ve charge***)

24.3 بزيادة 12 إلكترونا على قطرة زيت بحيث جعلتها مستقرة في مجال كهربائي شدته $2.55\times10^{4}\ N/C$ فإذا كانت كثافة الزيت $12600\ kg/m^{3}$. احسب كل من كتلة القطرة ونصف قطرها.

الجواب ($4.99\times10^{-15}kg,4.56\times10^{-7}m$)

25.3 شحنة نقطية $0.33\times10^{-8}C$ وضعت في وسط سماحيته النسبية $\varepsilon_r = 5$.احسب شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد $10cm$ من هذه الشحنة؟
الجواب(594 N/C)

26.3 ثلاث شحنات ($0.165\times10^{-8}C$, $+0.33\times10^{-8}C$, $0.33\times10^{-8}C$) وضعت عند النقاط (*A,B and C*) على الترتيب لرؤوس مربع ABCD ضلعه $2.98m$ احسب شدة المجال الكهربائي عند النقطة D ؟
الجواب ($1.63\times10^{4}N/C$)

27.3 أربع شحنات كهربائية مقاديرها $q_1 = 6nC, q_2 = q_3 = q_4 = -12nC$ تبعد عن النقطة p مسافات متساوية ($r = 6mm$) إحسب:

أ. الجهد الكهربائي عند النقطة p؟

ب. محصلة المجال الكهربائي عند النقطة p؟

جـ. القوة بين الشحنة q_1 و شحنة $q_5 = 12nC$ تم وضعها عند النقطة p؟

28.3 ما الفيض الكلي الذي يمر خلال سطح مساحته $10cm\times6cm$ في منطقة عندها كثافة الفيض $2700\mu C/m^2$ ؟

الجواب($1.62\times10^{-5}\ C$)

29.3 عند نقطة معينة في مادة كانت كثافة الفيض $0.09\ C/m^2$ وشدة المجال الكهربائي $1.2\times10^9\ V/m$.ما القيمة المطلقة لسماحية هذه المادة؟

الجواب($7.5\times10^{-11}\ C^2N^{-1}m^{-2}$)

30.3 إحدى المساحتان اللتان بين سطحين مشحونين ($8mm\times6mm$)وتخترقها شحنة مقدارها $96\ \mu C$. وكل من السطحين المشحونين مساحته ($2.5cm\times4cm$):

أ. ما كثافة الوسط في المنطقة التي بين السطحين المشحونين؟

ب. ما الفيض الكلي في المنطقة التي بين السطحين المشحونين؟

الجواب ($2\ C/m^2$) و($2\ mC$)

الفصل الرابع

1.4 المكثـــــــف.

2.4 الســــعة.

3.4 العوامل المؤثرة في السعة.

4.4 سعـــة المكثف ذو اللوحين المتوازيين.

5.4 المكثف متعدد الأوساط.

6.4 سعـــــــــة المكثف المتعدد الألواح .

7.4 أمثلـــــة.

8.4 مواصفـــــــــات المكثف.

9.4 أنواع المكثفات.

10.4 شحـــــــــن المكثف.

11.4 تفريغ المكثف.

12.4 أمثـــــــــلة.

13.4 الطاقة المخزنة في المكثف.

14.4 أمثلـــــــة.

15.4 القوة المؤثرة على اللوحين المشحونين.

16.4 أمثلـــــــة

17.4 طرق توصيل المكثفات. (التوالي والتوازي)

18.4 أمثلـــــــــة

19.4 مســـــــائل.

1.4 المكثـــــف *Capacitor*

أي سطحين موصلين تفصلهما مادة عازلة يسمى مكثف وهذه التسمية جاءت من إمكانية هذا النوع من الأدوات من تخزين الشحنة بداخلها.

ويسمى أيضا *condenser* وهذه التسمية جاءت من تركيز خطوط القوى الكهربائية في حيز صغير بعد تسليط فرق جهد بين السطحين الموصلين.

والمواد العازلة المستخدمة كثيرا في المكثفات هي الهواء، الميكا ،الورق المشمع *waxed paper* والسيراميك *ceramic*. وعند دراسة المكثفات تؤخذ النقاط الآتية في الاعتبار:

- تعتمد مقدرة المكثف في تخزين الشحنات الكهربائية على كل من مساحة اللوحين، المسافة بين اللوحين،و نوع المادة العازلة بين اللوحين.
- ينسب اسم المكثف إلى مادته العازلة مثلا مكثف ورقي أو هوائي أو ...... إلخ
- يأخذ المكثف أشكالا هندسية متعددة.

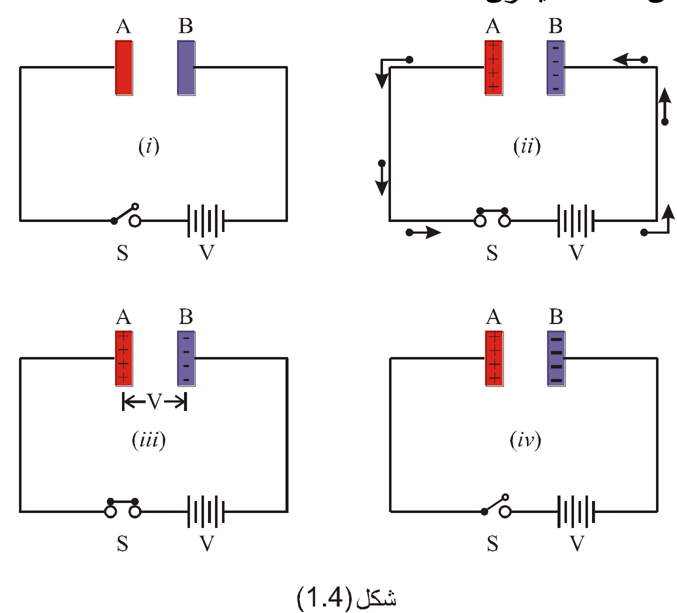
كيف يتم تخزين الشحنة في المكثف

الشكل (1.4) يبين كيف يخزن المكثف الشحنة عندما يوصل بمصدر *dc*.

المكثف ذو اللوحين المتوازيين A و B تم توصيله بنضيدة كما في الشكل (1*i*.4) مع مفتاح S في حالة فتح *open* ، ولوحا المكثف متعادلان بمعنى لا توجد شحنة عليهما.

وعندما يُقفل المفتاح كما في الشكل (1*ii*.4) تنجذب الإلكترونات التي على اللوح A إلى القطب الموجب للنضيدة *Battery* وتبدأ في التكدس (التراكم) على اللوح B (نتيجة لمرور المجال الكهربائي خلال العازل)، وينتج عن ذلك أن يكتسب اللوح A المزيد من الشحنات الموجبة بينما اللوح B يحصل على المزيد من الشحنات السالبة ويستمر هذا العمل حتى يتساوى الجهد بين اللوحين مع جهد (القوة الدافعة) النضيدة عندئذ يتوقف انسياب التيار كما في الشكل (1*iii*.4).

في حالة فتح المفتاح كما في الشكل (1iv.4) فإن لوحي المكثف يحتفظان بالشحنة ومن هنا يتضح أن المكثف يخزن الشحنة.



شكل (1.4)

ملاحظـــات

- عند تسليط فرق جهد على المكثف ينساب تيار الشحن حتى يُشحن المكثف بالكامل وعندئذ يتوقف الانسياب وهذا الشحن يستغرق زمنا قصيرا جزءا من الثانية. وهكذا عندما يشحن المكثف يمنع انسياب التيار المستمر.
- لا ينساب التيار خلال المكثف بمعنى بين اللوحين،ولكن يوجد انتقال للإلكترونات من لوح إلى آخر.
- عندما يُشحن المكثف فإن كلا من اللوحين يحملان نفس القيمة من الشحنة ولكن تختلفان في النوع بمعنى $+q$ و $-q$ ، وهذا متوقع لأن احد اللوحين يفقد عددا من الإلكترونات التي يكتسبها اللوح الآخر.وهكذا يعبر عن شحنة المكثف عدديا بأنها الشحنة على أي من لوحيه.

2.4 السـعة *Capacitance*

تُعرف السعة بأنها مقدرة المكثف على تخزين الشحنة. وتم بالتجربة العملية بأن الشحنة المخزنة في المكثف تتناسب طرديا مع فرق الجهد عبر المكثف

$$q \propto V$$

أو أن

$$\frac{Q}{V} = Constant \quad \dots\dots (1.4)$$

مقدارا ثابتا وهذا الثابت C يُسمى سعة المكثف ومن هنا تُعرف سعة المكثف بأنها: نسبة الشحنة التي على لوحي المكثف إلى فرق الجهد بين لوحيه.

ووحدة السعة في النظام العالمي للقياس الفاراد *Farad* ومن الناحية العملية يعتبر الفاراد كبير جدا ولذلك يستخدم الميكروفاراد μF والبيكوفاراد pF راجع الفقرة **(6.1)**.

3.4 العوامل المؤثرة في السعة *Factors Affecting Capacitance*

مقدرة المكثف على تخزين الشحنة (السعة) تعتمد على العوامل التالية :

- مساحة اللوح كلما زادت مساحة اللوح زادت سعته وذلك لأن كبر اللوح يمكنه الاحتفاظ بشحنة أكبر عند فرق جهد معين وبالتالي يكون أكبر سعة. سمك المادة العازلة *Thickness of dielectric* تتناسب السعة عكسيا مع سمك (المسافة بين اللوحين) المادة العازلة. بمعنى كلما كانت المسافة بين اللوحين صغيرة تزداد سعته وتقل السعة بزيادة المسافة بين اللوحين لأن قرب اللوحين من بعضهما البعض يجعل المجال الكهروستاتيكي أشد قوة وبالتالي يزيد من سعة المكثف.
- السماحية النسبية للمادة العازلة *Relative permittivity of dielectric* تتناسب

السعة طرديا مع السماحية النسبية للمادة العازلة (ثابت العزل)لأن طبيعة المادة تؤثر في المجال الكهروستاتيكي بين اللوحين وكذلك في الشحنة المتراكمة بينهما. ويؤخذ الهواء قيمة مرجعية للسماحية النسبية (ثابت العزل) حيث مقداره الوحدة *unity* أما ثابت العزل للمواد العازلة الأخرى كلها أكبر من واحد. ويُعرف ثابت العزل أو السماحية النسبية بأنه النسبة بين سعة المكثف وبداخله المادة العازلة إلى سعته في الهواء:

$$\varepsilon_r = \frac{C_{material}}{C_{air}} \quad \dots \dots (2.4)$$

مثـــــال(1.4) مكثف ذو لوحين متوازيين يفصل بينهما هواء سعته $30\ pF$. احسب الشحنة على المكثف عندما يسلط فرق جهد بين لوحيه $240\ V$.وإذا تم وضع مادة الميكا بين لوحيه ($\varepsilon_r = 6$).احسب سعة المكثف ثم الشحنة المخزنة في هذه الحالة؟

الحــل:

الشحنة على المكثف في حالة الهواء

$$q_{air} = C_{air}V = 0.0072\mu C$$ (بعد التعويض)

سعة المكثف عند وضع الميكا بين لوحيه

$$C_{mica} = \varepsilon_r C_{air} = 180\ pF$$

الشحنة المخزنة في مكثف الميكا

$$q_{mica} = C_{mica}V = 0.0432\mu C$$

4.4 سعـــة المكثف ذو اللوحين المتوازيين *Capacitance of parallel –plate capacitor*

عرفنا أن كثافة الفيض بين اللوحين

$$D = \frac{q}{A} \quad \dots\dots (3.4)$$

وشدة المجال بين اللوحين

$$E = \frac{V}{d} \quad \dots\dots (4.4)$$

ولكن

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon_r E$$

أو

$$\frac{q}{\mathrm{A}} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{V}{d}$$

وكما سبق ذكره فإن النسبة بين الشحنة والجهد تساوي سعة المكثف وبذلك

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d} \quad \dots\dots (5.4)$$

وفي حالة الهواء

$$C_{\mathrm{air}} = \frac{\varepsilon_0 \mathrm{A}}{\mathrm{d}} \quad \dots\dots (6.4)$$

ويستنتج من ذلك بأن وحدة السماحية للمادة العازلة هي (فاراد/متر) *F/m*

5.4 المكثف متعدد الأوساط *parallel plate capacitor with composite medium*

الشكل (*3-4*) يبين مكثف مركب أو متعدد المواد العازلة.بفرض أن سمك المادة العازلة لكل من المواد العازلة هي (d_1,d_2,d_3) وأن فرق الجهد لكل مكثف على حدة

وأن ثابت العزل أو السماحية النسبية لكل مادة عازلة هي $(\varepsilon_1,\varepsilon_2,\varepsilon_3)$ (V_1,V_2,V_3) وبذلك تكون شدة المجال لكل مكثف على حدة:

$$E_1 = \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_1} \quad ......(7.4)$$

$$E_2 = \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_2} \quad ......(8.4)$$

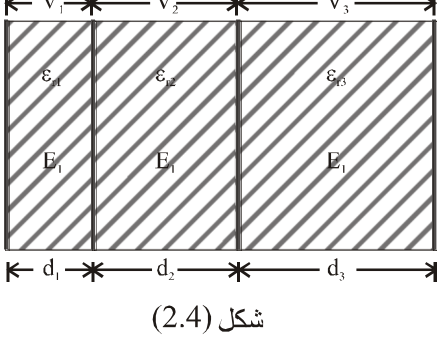
$$E_3 = \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_3} \quad ......(9.4)$$

وباعتبار أن كثافة الفيض D لكل المواد العازلة هذه متساوية ومن هنا يمكن حساب فرق الجهد لهذا المكثف المركب أو متعدد الأوساط بجمع الجهود للمكثفات الثلاثة

$$V=V_1+V_2+V_3=E_1d_1+E_2d_2+E_3d_3$$

وبالتعويض عن قيمة كل من (E_1,E_2,E_3) بما يساويها في المعادلة السابقة بدلالة كثافة الفيض وسماحية المادة العازلة. نحصل على السعة الكلية للمكثف المركب حسب العلاقة التالية:

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{\left(\frac{d_1}{\varepsilon_1}+\frac{d_2}{\varepsilon_2}+\frac{d_3}{\varepsilon_3}\right)} \quad ......(10.4)$$



شكل (2.4)

أو بصورة عامة

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{\sum \frac{d}{\varepsilon_r}} \quad ......(11.4)$$

(يترك للطالب باقي الاستنتاج).

6.4 سعـــــــــــة المكثف المتعدد الألواح *Multiple capacitor*

من أفضل الطرق للحصول على مكثف ذي سعة كبيرة هو استخدام ألواح متعددة *multiplates* . في هذا التركيب *construction* يتكون المكثف من صفائح متناوبة *alternates* لكل من الشرائح المعدنية *metal foil* وصفائح رقيقة من المادة العازلة الشكل (3.4). تُوصل الأرقام الفردية للصفائح المعدنية مع بعض لتكون النهاية T_1 ويتم توصيل الأرقام الزوجية للصفائح المعدنية مع بعض لتكون النهاية T_2 وفي هذا الشكل يشاهد مكثف متعدد الألواح يحتوي سبعة ألواح، بمعني يحتوي ستة مكثفات متوازية.وبناء على ذلك لو كان لدينا *n* من الألواح فيمكننا الحصول على (*n-1*) من المكثفات وتكون سعة المكثف متعدد الألواح :

شكل (3.4)

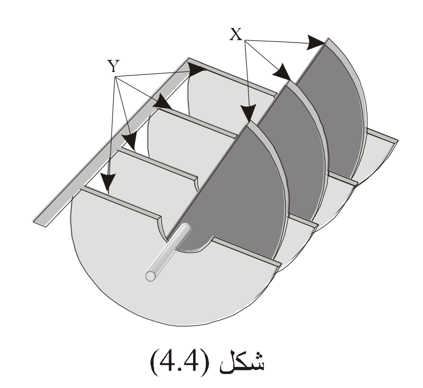
$$C = (n-1)\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d} \quad ......(12.4)$$

حيث *d* المسافة بين أي لوحين متجاورين و ε_r السماحية النسبية للوسط، ويلاحظ أن مساحة اللوح تزداد من *A* إلى $(n-1)A$.

1.6.4 المكثف الهوائي المتغير *Variable Air Capacitor*

يتحكم بسعة هذا النوع من المكثفات في اختيار تردد القنوات، والشكل (4.4) يبين مكثف هوائي متغير يستخدم في دائرة الطنين *tune* لأجهزة الإرسال والاستقبال وتحسب سعته بالعلاقة :

$$C_{air} = (n-1)\frac{\varepsilon_0 A}{d} \quad ......(13.4)$$



شكل (4.4)

7.4 أمثلـــــة

مثال(2.4) احسب سعة مكثف ذي لوحين متوازيين مساحة كل منهما $30m^2$ وسمك المادة العازلة بينهما $2mm$ ومقدار سماحيتها 6 إذا كانت شدة المجال الكهربائي في العازل $500\ V/mm$. ثم احسب الشحنة الكلية لكل لوح؟

الحــل:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d} = 0.797\ \mu F$$

$$V = Ed = 1000\ V$$

$$q = CV = 0.797 mC$$

(تحصل على النتائج بالتعويض بالقيم العددية)

مثال(3.4) سُلط فرق جهد $10kV$ بين نهايتي مكثف ذي لوحين مساحة كل منهما ($0.01m^2$) سمك المادة العازلة بينهما ($1mm$). فكانت سعة المكثف $300\ pF$ احسب:

- الفيض الكهربائي الكلي؟

- كثافة الفيض؟
- منحدر أو تدرج الجهد *Potential gradient*؟
- السماحية النسبية أو ثابت العزل؟

الحـــل:

- الفيض الكهربائي يساوي الشحنة:

$$q = CV = 3\mu C$$

- كثافة الفيض:

$$D = \frac{q}{A} = 3 \times 10^{-4}\ {}^{c}/_{m^2}$$

- منحدر الجهد والذي يساوي المجال الكهربائي:

$$E = \frac{V}{d} = 10^{7}\ {}^{V}/_{m}$$

السماحية النسبية:

$$\varepsilon_r = \frac{D}{\varepsilon_0 E} = 3.39$$

مثال(4.4) مكثف هوائي متغير له 11 لوحا متحركاً و12 لوحا ثابتاً مساحة كل من هذه الألواح ($0.0015m^2$) والمسافة بين كل لوحين متقابلين ($0.001m$) . عين القيمة القصوى لسعة المكثف؟

الحـــل:

يكون للمكثف سعة قصوى عندما تدار الألواح المتحركة كلها بمعني عندما ينطبق كل لوحين على بعضهما البعض تحت هذا الشرط تكون المساحة المشتركة أو الفعالة متساوية للمساحة الفيزيائية *physical area* لكل لوح،عدد الألواح $n = 11+12 = 23$

والسماحية النسبية $\varepsilon_r = 1$ والمساحة لكل لوح $A = 0.0015m^2$ والمسافة بين كل لوحين $d = 0.001m$ وبالتعويض عن هذه القيم في العلاقة:

$$C = (n-1)\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d} = 292\ pF$$

مثال(5.4) مكثف هوائي ذو لوحين متوازيين مساحة كل منهما $(1500cm^2)$ والمسافة بينهما $(5mm)$ فإذا وضعت شريحة مساحتها $(1500cm^2)$ وسمكها $(2mm)$ وثابت عزلها 3 بين اللوحين. ما المسافة الجديدة بين اللوحين لإعادة السعة إلى قيمتها الأصلية ؟

الحــل:

عند وضع شريحة داخل مكثف هوائي فإذا كانت المسافة بين اللوحين في الهواء d فإن المسافة بين اللوحين للهواء بعد وضع شريحة سمكها t هي $d\text{-}t$ وتكون السعة عندئذ حسب العلاقة:

$$C_{material} = \frac{\varepsilon_0 A}{\dfrac{d-t}{1} + \dfrac{t}{\varepsilon_r}} = \frac{\varepsilon_0 A}{d - \left(t - \dfrac{t}{\varepsilon_r}\right)}$$

وفي حالة الوسط هواء تكون السعة حسب العلاقة:

$$C_{air} = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

ومن ملاحظة العلاقتين في $C_{material}$ و C_{air} نلاحظ أنه بوضع شريحة داخل مكثف هوائي ستزيد سعته وذلك بنقص المسافة بين اللوحين بالمقدار:

$$\left(t-\frac{t}{\varepsilon_r}\right)$$

ولإعادة السعة إلى قيمتها الأصلية في الهواء ، نساوي بين العلاقتين حيث نرى البسطين في العلاقة متساويين وعند المساواة بين المقامين في العلاقتين نحصل على المسافة الجديدة التي تفصل بين اللوحين:

$$d_{new}=d+\left(t-\frac{t}{\varepsilon_r}\right)$$

وبالتعويض عن القيم المعطاة في المثال نجد أن $d_{new} = 6.33mm$

مثال(6.4) تم تسليط جهد ثابت ($500V$) على لوحين معدنيين متوازيين كل منهما مساحته ($1m^2$)،والمسافة بينهما ($18cm$).ويوجد بين اللوحين طبقتين عازلتين سمك كل منهما ($t_1= 6cm$) و($t_2 = 12cm$) والسماحية النسبية لكل منها ($\varepsilon_1 = 3$) و ($\varepsilon_2 = 4$) .إحسب منحدر الجهد (E_1,E_2) لكل طبقة؟

الحـــل:

كثافة الفيض الكهربائي واحدة للطبقتين:

$$D = \varepsilon_0\, \varepsilon_{r1}\, E_1 = \varepsilon_0\, \varepsilon_{r2}\, E_2$$

وبذلك:

$$3E_1 = 4E_2$$

$$E_2=\frac{3}{4}E_1$$

فرق الجهد على اللوحين لكل منهما:

$$V = V_1 + V_2 = E_{t1} + E_{t2} = 0.06E_1 + 0.12E_2$$

$$5000 = 0.06E_1 + 0.12(0.75E_1)$$

$$= (0.06+0.9)\, E_1$$

$$\therefore \quad E_1 = \frac{5000}{0.15} = 3.33 \times 10^4 \; V/m$$

$$\therefore \quad E_2 = \frac{3}{4} E_1 = 2.5 \times 10^4 \; V/m$$

8.4 مواصفــــــــــات المكثف *Capacitor Specification*

هناك ثلاث مواصفات للمكثف يجب أن يزود بها المصنعون المستخدم في كتيب المعلومات *data sheet* وهي:

. تقدير للسعة *rated capacitance*

. تقدير للجهد أو الفولتية voltage rating

. مقاومة التسرب leakage resistance

وفيما يلي نبذة مختصرة عن هذه المواصفات:

- **تقدير السعة** *rated capacitance*

يعتبر تقدير السعة الخاصية الأولى من الأهمية في معظم التطبيقات العملية. وللمكثف مدى واسع من السعات تتراوح ما بين $1\mu F$ وعدة ألاف من الميكروفاراد μF وتقدر الحدود المسموح بها من المصنع في الحالة النموذجية *Typical capacitor range* من ±5% إلى ±20%

- **تقدير الجهد إو الفولتية** *voltage rating*

من المواصفات الهامة لاختيار المكثف لتطبيقات معينة هو أنه لكل مكثف جهد معين لا يتحطم *breakdown* المكثف بتسليط عليه هذا الجهد. وحيث أن الجهد يتناسب عكسيا مع السعة والتي يتحكم فيها المصنعون باختيار الوسط العازل والمسافة التي تفصل

الألواح ومساحتها، فإن المكثفات التجارية *commercial capacitors* التي لها سعة كبيرة يقابل هذه السعة جهد ذو قيمة صغيرة يتحطم عنده المكثف والعكس بالعكس *vice-versa*.

وأقصى قيمة للجهد الذي يعمل عنده المكثف باستمرار ودون تحطم يسمى *dc working voltage* ويختصر إلى DCWV. ومواصفات التصنيع لهذا الجهد تتراوح ما بين بضع فولتات للمكثفات الكبيرة إلى عدة ألاف من الفولتات للمكثفات الصغيرة.

- **مقاومة التسرب** *Resistance leakage*

مقاومة المادة العازلة داخل المكثف تعتبر من إحدى المواصفات الهامة في التطبيقـــات العملية والتي تسمى بمقاومة التسرب. في المكثف المثـــالي *ideal capacitor* تكـــون المادة العازلة *dielectric* عازلا تاما *perfect insulator* بمعنى أنه للمـــادة العازلـــة مقاومة لا نهائية *infinite resistance* وبذلك يكون التيار الذي يمر في المادة العازلة صفرا عندما يُسلط جهدٌ مستمّر *dc* بين طرفي المكثف.

ولكن المادة العازلة في المكثف الحقيقي *real capacitor* لها مقاومة كبيـــرة ولكنهـــا محدودة *finite* وبذلك يمر تيار صغير بين لوحي المكثف عندما يُســـلط عليـــه جهـــدٌ، وتتراوح القيمةُ النموذجيةُ لمقاومِة التسرب فيما بين $1M\Omega$ إلى أكبرَ من $100G\Omega$.

9.4 أنواع المكثفات *Types of capacitors*

عادة ما تُصنِّف المكثفات حسب المادة العازلة فيُقال مكثفٌ ورقيٌ ومكثفٌ هوائيٌ ومكثفُ ميكا وهكذا. ويختار المصنعون المادة العازلة للحصول على مكثفات بخواصَّ معينةٍ *specific properties* من حيث السعة الكبيرة ومقاومة التَّسَرُّبِ الكبيرة وجهد التحطم العالي أو حجم صغير.

وكذلك يمكن أن يتم تصنيف المكثفات إلى:

- النوع الثابت *fixed type*
- النوع القابل للتعديل *adjustable type*
- النوع المتغير *variable type*

فالمكثفات الثابتة لها مقدار سعة ثابت بينما المكثفات القابلة للتعديل يمكن التغيير في قيمة سعتها بمقاديرَ طفيفةٍ بالتحكم في المسافة بين اللوحين ، أما المكثفات المتغيرة لها عدد من الألواح الثابتة وعدد من الألواح القابلة للدوران *rotatable* مثبتة على عمود *shaft* مشترك،وبإدارة العمود تتغير المساحة الفعالة للألواح وبالتالي تتغير سعة المكثف.

وعادة ما يكون العازل في المكثفات المتغيرة الهواء بالرغم من استخدام الميكا والسيراميك أيضا.

وجدول(1.4) يبين بعض خواص *characteristic* المكثفات الأكثر استخداماً.

جدول (1.4)

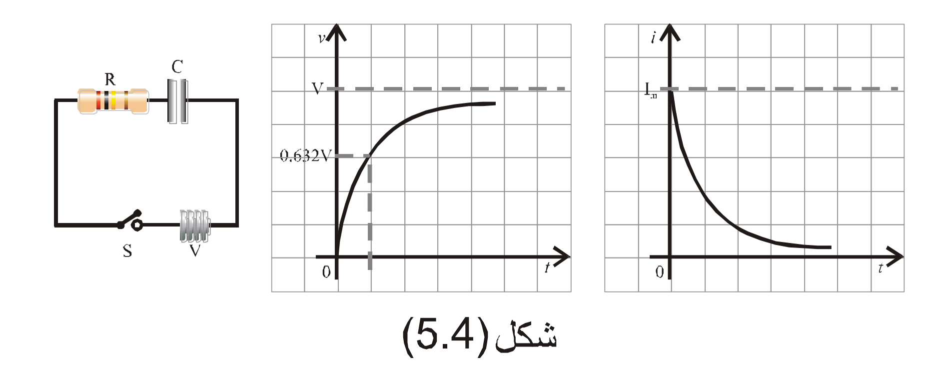
الاسم Name	النوع Type	مدى السعة Capacitance range	مدى الجهد Voltage range	التسرب Leakage	المدى الترددي Freq. range
المكثف المفرغ Vacuum cap.	ثابتة ومتغيرة	5-250μF	5 to 50kV	لا يوجد	over GHz
المكثف الهوائي	ثابتة قابلة للتحويل – متغيرة	0-400p F	منخفض وعال	قليل جدا	Up to GHz
مكثف الميكا	ثابتة قابلة للتحويل	1.5p F to 1μ F	350V to 1000V	قليل جدا	Up to 300MHz
مكثفات السيراميك	ثابتة قابلة للتحويل	1.5pF to0.01μ F 100μ F	To 500V	منخفض	Up to 300MHz
المكثف الورقي	ثابتة	10p F to10μF	150V to ~kV	معتدل	Up to 2MHz
المكثف الإلكتروليتي Electrolytic	ثابتة فقط	10μF to 50,000μF	6-700V	يؤخذ في الاعتبار	يستخدم فقط في دوائر dc

10.4 شحــــــــن المكثف *charging capacitor*

الدائرة التي بالشكل (5.4) لتوضيح شحن المكثف.

في البداية يكون الجهد على المكثف صفراً حيث بدأنا بمكثف غير مشحون ، أما جهد المصدر V المسلط على المقاومة R ينتج عنه تيار قيمته القصوى:

$$I_m=V/R \quad \dots \dots (14.4)$$



شكل (5.4)

وهو تيار الشحن *charging current* ، وبعد أن يتم قفل المفتاح يبدأ تيار الشحن بالتناقص عن القيمة القصوى ويبدأ الجهد عبر المكثف بالزيادة وكل من التناقص في التيار والزيادة في الجهد يتبعان القانون ألأسي *exponential law* كما في الشكل (5.4) والشكل (6.4) على الترتيب.

ويمكن حساب القيمة اللحظية للجهد v من العلاقة الرياضية:

$$v = V\left(1 - e^{-t/RC}\right) \quad \dots \dots (15.4)$$

حيث V القيمة النهائية للجهد المستقر عبر المكثف

Final steady voltage across the capacitor ويساوى جهد النضيدة و t الزمن المنقضي منذ قفل المفتاح *Time elapsed since switch is closed* ، أما أس الأساس e (اللوغاريتم الطبيعي)

هو الكمية *t/RC* حيث *RC* يسمى ثابت زمن الدائرة (أو زمن الاسترخاء) ويعبر عنه بالرمز λ وبذلك يمكن إعادة كتابة العلاقة السابقة كما يلي:

$$v = V\left(1 - e^{-t/\lambda}\right) \quad \dots\dots (16.4)$$

أما الشحنة اللحظية q يتم حسابها عند أي لحظة من العلاقة :

$$q = Q\left(1 - e^{-t/\lambda}\right) \quad \dots\dots (17.4)$$

حيث: Q الشحنة النهائية على المكثف *Final charge on the capacitor*

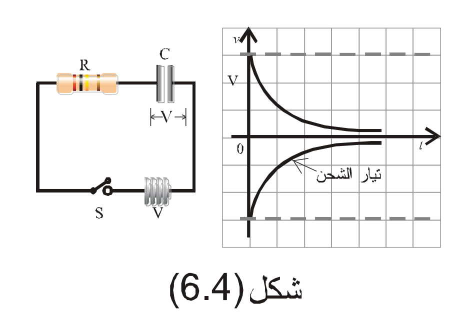
أما في حالة $t = \lambda$ بالتعويض نجد أن الجهد على المكثف $v = 0.632$ ومن هنا يمكن أن يعرف ثابت الزمن بأنه الزمن اللازم ليصل فيه جهد المكثف 0.632 من قيمة جهده النهائي عند الاستقرار أو الزمن اللازم لتصل شحنة المكثف 0.632 من شحنته النهائية. وبتفاضل الشحنة بالنسبة للزمن نحصل على التيار الكهربائي المار في الدائرة:

$$i = I_m e^{-t/\lambda} \quad \dots\dots (18.4)$$

حيث i التيار عند أي لحظة وI_m القيمة القصوى للتيار عند لحظة غلق الدائرة. وبملاحظة العلاقتين السابقتين نرى أن الشحنة والتيار يسلكان طريقين متعاكسين حيث تزداد الشحنة من الصفر إلى قيمتها القصوى بينما يتناقص التيار من قيمته القصوى إلى الصفر (لماذا؟). وإذا عوضنا عن $t = RC = \lambda$ نحصل على $i = I_m e^{-1} = 0.37 I_m$ وبذلك هناك تعريف آخر لثابت الزمن بأنه الزمن اللازم ليصل تيار الشحن إلى 0.37 من قيمته القصوى.

11.4 تفريغ المكثف *Discharging of a capacitor*

أما إذا تم تفريغ المكثف بعد شحنه فسوف يبدأ المكثف في تفريغ شحنته النهائية Q خلال المقاومة المتصلة به على التوالي R وبعد زمن t يتم الحصول على كل من الشحنة اللحظية وتيار التفريغ اللحظي والجهد اللحظي في حالة التفريغ الشكل(6.4)



شكل (6.4)

وبعد عدد من الخطوات الرياضية (دراسة المعادلات التفاضلية) نحصل على:

$$q = Q\left(1 - e^{-t/\lambda}\right) \quad \dots\dots (19.4)$$

$$i = I_m e^{-t/\lambda} \quad \dots\dots (20.4)$$

$$v = V e^{-t/\lambda} \quad \dots\dots (21.4)$$

12.4 أمثـــــــــــلة

مثال(7.4) مكثف ($2\mu F$) تم توصيله في دائرة مغلقة بمصدر ($100V$) ومقاومة ($1M\Omega$) على التوالي.احسب:

أ. ثابت زمن الدائرة؟

ب. القيمة القصوى لتيار الشحن؟

جـ. الجهد بين طرفي المكثف بعد مضي 6 ثوان من قفل المفتاح؟

الحـــل:

ثابت الزمن: $\lambda = RC = 2$ seconds .

القيمة القصوى لتيار الشحن:

initial charging currant $I_m = V/R = 100\mu A$

الجهد بعد 6 ثوان:

$$v = Ve^{-t/\lambda} = 95.1\ V$$

مثال(8.4) مكثف ($8\mu F$) تم توصيله بمصدر dc عبر مقاومة ($1M\Omega$) . احسب الزمن اللازم الذي يستغرقه المكثف ليصل 95% من شحنته النهائية.

الحــل:

يتم أولا حساب ثابت الزمن $\lambda = RC = 8\ seconds$.

$$q = Q\left(1 - e^{-t/\lambda}\right)$$

$$0.95 = \left(1 - e^{-t/8}\right) \Rightarrow e^{-t/8} = 1 - 0.95 = 0.05$$

و بتنسيق المعادلة:

$$e^{t/8} = \frac{1}{0.05} = 20$$

$$\left(\frac{t}{8}\right)\ln e = \ln 20$$

$$t = 8\ln 20 = 23.96\ sec$$

مثال(9.4) مقاومة R ومكثف ($4\mu F$) وُصلا معا على التوالي بمصدر ($200V$) وبين طرفي المكثف وُصل مصباح نيون يضيء عندما يصبح جهد المكثف $120V$. احسب قيمة R التي تجعل المصباح يضيء بعد 5 ثوان.

الحــل:

يصل الجهد المُسَلط على مصباح النيون $120V$ بعد زمن مقداره 5 ثوان

$$v = V\left(1 - e^{-t/\lambda}\right)$$

$$120 = 200\left(1 - e^{-5/\lambda}\right)$$

$$\left(e^{-5/\lambda}\right) = 1 - \left({}^{120}/_{200}\right) = 0.4$$

$$\left(e^{5/\lambda}\right) = \left({}^{1}/_{0.4}\right) = 2.5$$

$$\left(\frac{5}{\lambda}\right)\ln \mathrm{e} = \ln 2.5$$

$$\lambda = \frac{5}{\ln 2.5} = 5.457\ \mathrm{s}$$

$$RC = 5.457 \;\Rightarrow R = \frac{5.457}{4 \times 10^{-6}} = 1.364M\Omega$$

مثال(10.4) تم شحن مكثف ($0.1\mu F$) من نضيدة ($100V$) خلال مقاومة ($1k\Omega$)

عيَّن عندما $t = RC$ كل من:

1. الجهد عبر المكثف؟
2. تيار الشحن؟
3. معدل الطاقة (القدرة)؟

الحـــل:

عندما $t = RC$ بمعنى عند ثابت الزمن.في هذه الحالة يكون الجهد اللحظي عبر المكثف $0.632V$ ويكون تيار الشحن اللحظي $0.37I_m$.

في هذا المثال

$$V = 100Volt \text{ و } I_m = V/R = 100\times10^{-3} = 10^{-1}A$$

والآن يمكن حساب كل من الجهد والتيار اللحظيين

$$V = 0.632V = 0.632\times100 = 63.2Volt$$

$$I = 0.73I_m = 0.37\times0.1 = 0.037A$$

$$t = RC$$

أما معدل الطاقة (القدرة) هو حاصل ضرب الجهد والتيار عندما بالتعويض

$$P = 2.34W$$

مثال(11.4) مكثف سعته ($8\mu F$) وصل على التوالي مع مقاومة مقدارها ($0.5M\Omega$) وكان الجهد على المقاومة ($200V$) من مصدر جهد مستمر d.c،إحسب:

أ. ثابت الزمن t ؟

ب. تيار الشحن؟

ج. الزمن اللزم ليصل فرق الجهد على المكثف الى ($160V$)؟

د. التيار وفرق الجهد على المكثف بعد 4 ثواني من توصيل المصدر؟

الحـــل:

أ.

$$\tau = RC = 8\times10^{-6}\,(0.5\times10^{6}) = 4\,s$$

ب.

$$I_{max} = \frac{V}{R} = \frac{200}{0.5 \times 10^6} = 40 \times 10^{-5}\Omega$$

جـ.

$$V = V_o(1 - e^{-t/\tau})$$

$$160 = 200(1 - e^{-\frac{t}{4}})$$

$$\frac{160}{200} = 1 - e^{-t/4}$$

$$0.8 = 1 - e^{-t/4}$$

$$e^{-t/4} = 0.2 \qquad or \quad e^{-t/4} = 5$$

$$\frac{t}{4} = ln\,5 \qquad \Rightarrow \; t = 4\,ln5 = 6.44\,s$$

د.

حيث أن (4s) هي الثابت الزمني τ (*time constant*) للدائرة إذاً سيرتفع جهد المكثف الى 36.2% من جهد المصدر (الجهد الاقصى) وسيهبط تيار شحنه الى 37% من التيار عند البداية I_{max} وبذلك:

$$V = 0.632 \times 200 = 126.4V$$

$$I = 0.37I_m = 0.37 \times 0.4 = 0.1448\ mA$$

مثال(12.4) شحن مكثف من مصدر تيار مستمر (d.c) خلال مقاومة (0.5MΩ)،فإذا وصل فرق الجهد عليه الى 75% من قيمته الاولى في نصف ثانية.إحسب سعة المكثف؟

الحــل:

باستخدام العلاقة:

$$V = V_o(1 - e^{-t/\tau})$$

وبالتعويض عن قيمة كل من :

$$V = 0.75V$$

$$t = 0.5\text{s}$$

نحصل على :

$$\tau = 0.3612\text{s}$$

$$\tau = RC \quad \Rightarrow C = \frac{\tau}{R} = \frac{0.3612}{5 \times 10^5} = 0.7224\mu F$$

13.4 الطاقة المخزنة في المكثف *Energy stored in capacitor*

يعنى شحن المكثف انتقال الالكترونات من لوح إلى آخر وهذا الانتقال بين اللوحين يتضمن بذل للطاقة لأن الالكترونات تتحرك ضد قوتين متضادتين حيث الالكترونات تُدفع إلى اللوح السالب الذي يبعدها عنه بالتنافر ،وفي الوقت نفسه تتحرك مبتعدة عن اللوح الموجب الذي يجذبها إليه بالتجاذب.

و تزداد القوتان المتضادتان مع زيادة الشحنة على اللوحين.

و يتم تخزين هذه الطاقة في المجال الكهروستاتيكي عبر الوسط العازل.وعند تفريغ المكثف ينهار المجال *collapses* وتتحرر الطاقة المخزنة *released*.بأخذ مكثف سعته C تم شحنه من مصدر فرق جهده V وعند أي لحظة تكون:

$$C = \frac{q}{V} \quad \dots\dots (22.4)$$

وعند أي لحظة يُبذل شغل لنقل شحنة 1C من لوح إلى آخر ، فإذا تم نقل شحنة صغيرة dq فإن الشغل المبذول:

$$dW = vdq = C\, v\, dv \quad \dots\dots(23.4)$$

ونحصل على الشغل الكلى بالتكامل والذي يساوي الطاقة المخزنة في المجال الكهروستاتيكي عبر المادة العازلة:

$$W = E\frac{1}{2}(CV^2) = \frac{1}{2C}q^2 \quad \dots\dots (24.4)$$

14.4 أمثلـــــــــة

مثال(13.4) شُحن مكثف ($16\mu F$) إلى ($100V$) وبعد أن تم فصله من المصدر مباشرة وصُل بمكثف ($4\mu F$) على التوازي عيّن:

1. فرق الجهد عبر المكثفين.
2. الطاقة؟

الحـــل:

قبل توصيل المكثفين على التوازي نحسب مقدار الشحنة بالمكثف ($16\mu F$)

$$q = C_1V = 16\times10^{-6}\times100 = 1.6m\ C$$

الطاقة المخزنـــــــــــــــــة:

$$E_1 = \frac{1}{2}C_1V^2 = \frac{1}{2}(16\times10^{-6})(100)^2 = 0.08\ J$$

بعد توصيل المكثفين على التوازي نحسب السعة الكلية C_T:

$$C_T = C_1 + C_2 = 16+4 = 20\mu F$$

تتوزع الشحنة $1.6mC$ بين المكثفين ويصبح لهما فرق جهد مشترك:

$$V = \frac{q}{C_T} = \frac{1.6 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = 80V$$

الطاقـــــــــــة المخزنــــــــة:

$$E_2 = \frac{1}{2} C_T V^2 = \frac{1}{2}(20 \times 10^{-6})(80)^2 = 0.064\,J$$

يلاحظ في هذه الحالة اقل طاقة من قبل التوصيل على التوازي ، وهذا ناتج عن الحرارة المبددة في الموصل الذي يربط بين المكثفين.

مثال(14.4) كُرة معدنية قطرها $4m$ تم شحنها إلي جهد $3\,MV$ احسب الطاقة المتولدة عندما يتم تأريضها (*earthed*) خلال مقاومـــــة سلك طويل.

الحــل:

جهد المكثف (الكُرة) عند السطح:

$$V = 9 \times 10^9 \frac{q}{r}$$

وبذلك يكون مقدار الشحنة:

$$q = \frac{rv}{9 \times 10^9} = \frac{2 \times 3 \times 10^6}{9 \times 10^9} = 0.67 \times 10^{-3} C = 0.67mC$$

الطاقـــــة المخزنـــة في المكثف (الكُرة):

$$E = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}(0.67 \times 10^{-3})(3 \times 10^{6}) = 1005\,J$$

الطاقة التي تم تخزينها في الكُرة ستُبَدَّدُ (*dissipated*) كحرارة في مقاومة السلك.

مثال(15.4) مكثف يتكون من لوحين معدنيين كل منهما ($40cm\times40cm$) والمسافة بينهما ($6mm$) .مُلأ الفراغُ بين اللوحين بلوح زجاج سمكه ($5mm$) وطبقّة من الورق سمكها ($1mm$) ، السمـــاحية النسبية لكل من الزجاج والورق 8 و2 على الترتيب .

احسب :

1. سعة المجموعة؟

2. وإذا سُلط فرقُ جهدٍ (10^4V) على المكثف عيّن الطاقة المخزّنة في المكثف؟

الحــل:

مســـــاحة اللوح: $A= 0.16m^2$

سمك الزجاج $d_1= 5mm$ و سمك الورق $d_2 =1mm$

السماحية النسبية للزجاج $\varepsilon_1 = 8$ ،والسماحية النسبية للورق $\varepsilon_2 = 2$ وبالتعويض نحصل على سعة المجموعة *composite capacitor*.

أما الطاقـــــــــة المخزنة:

$$E = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}(0.001259)(10^4)^2 = 62.95\,mJ$$

مثال(16.4) مكثف ذو لوحين متوازيين مساحة كل منهما ($100cm^2$) وضع في زيت سماحيته النسبية 10 ،وتم شحنه بفرق جهد ($50kV$)، والمسافة بين لوحيه ($2cm$) عين الطاقة المخزنة فيه؟

الحـــل:

سعة المكثف:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} = \varepsilon_r \varepsilon_o \frac{A}{d}$$

$$= \frac{10(8.85 \times 10^{-12})(100 \times 10^{-4})}{2 \times 10^{-2}} = 44.25pF$$

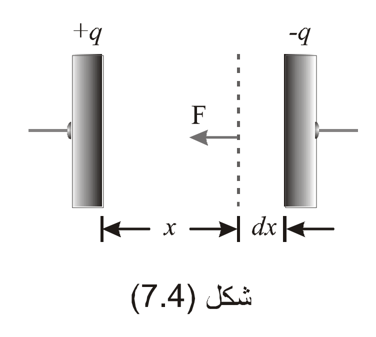
$$E = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}CV^2 = 553.125\,J$$

15.4 القوة المؤثرة على اللوحين المشحونين *Force on Charged Plates*

يحمل اللوحان بالشكل (7.4) شحنة ثابتة على كل منهما $+q$ و$-q$ ينتج عن ذلك قوة تجاذب F. وإذا تم تحريك أحد اللوحين مسافة dx من اللوح الآخر ينتج عن ذلك شغل:

$$work\ done = Fdx \quad \dots \dots (25.4)$$

وحيث أن الشحنة ثابتة على كل من اللوحين فأنه لا توجد طاقة كهربائية تدخل أو تغادر المنظومة (اللوحين معا) خلال تحريك أحد اللوحين مسافة dx . ويترتب على ذلك تساوى الشغل المبذول مع التغيير في الطاقة المُخزّنة



شكل (7.4)

work done = change in stored energy.

والزيادة في المسافة بين اللوحين بمقدار *dx* ينتج عنه نقص في السعة بمقدار *d*C وتصبح السعة النهائية (C-*d*C) وبحساب الطاقتين الابتدائية (قبل تحريك اللوح) والنهائية (بعد تحريك اللوح) نحصل على الطاقة الابتدائية *Initial stored Energy*

$$E_I = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} \quad \dots\dots (26.4) \dots$$

أما الطاقة النهائية *Final stored energy*

$$E_F = \frac{1}{2}\frac{q^2}{(C - dC)} \quad \dots\dots (27.4)$$

ونحصل على التغيير في الطاقة *change in stored energy*

$$\frac{q^2}{2C^2}\, dC$$

(متروك للطالب)

وبمساواة الطاقة المخزّنة بالشغل المبذول نحصل على القوة بين اللوحين:

$$F = \frac{q^2}{2C^2}\frac{dC}{dx} \quad \dots\dots (28.4)$$

وبتفاضل السعة يتم الحصول على

$$\frac{dC}{dx} = -\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{x^2}$$

وبالتعويض في المعادلة (28.4) نحصل على :

$$F = -\frac{1}{2}\varepsilon A E^2 \quad \dots\dots (29.4)$$

حيث E المجال الكهربائي المساوى لحاصل قسمة الجهد على المسافة V/x بينما الجهد يساوى حاصل قسمة الشحنة على السعة Q/C. (متروك للطالب).
وتعنى الإشارة السالبة بأن القوة تؤثر عكس اتجاه حركة أحد اللوحين من الآخر وهي قوة تجاذب .

16.4 أمثلـــــــة

مثال(16.4) مكثف ذو لوحين متوازيين مساحة كل منهما $100cm^2$.وُضع في زيت سماحيته النسبية 10،و فرق الجهد بين لوحيه $5kV$ والمسافة بينهما 2cm،عيّن القوة بين لوحيه؟

الحــل:

نحسب شدة المجال الكهربائي بالتعويض المباشر:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{5 \times 10^3}{2 \times 10^{-2}} = 2.5 \times 10^5\ V/m$$

وقوة الجذب بين اللوحين:

$$F = -\frac{1}{2}\varepsilon A E^2$$

$$F = \frac{1}{2}(8.854 \times 10^{-12}) \times 10 \times 0.01 \times (2.5 \times 10^5)^2$$

$$= 2.77 \times 10^{-2} N$$

مثال(17.4) مكثف ذو لوحين متوازيين المسافة بينهما $0.5mm$ في الهواء . مساحة كل منهما $2m^2$ ثم شُحن اللوحان إلى فرق جهد $100V$. بعد أن تم سحب أحد اللوحين

أصبحت المسافة بينهما $1mm$ في الهواء . وبفرض ثبوت فرق الجهد بين اللوحين ، ما القوة الميكانيكية المؤثّرة لفصل اللوحين؟

الحـــل:

سعة المكثف الابتدائية ***initial capacitance*** :

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = 35.4\ nF$$

الطاقة المخزنة الابتدائية ***initial stored energy*** :

$$E_1 = \frac{1}{2} C_1 V^2 = 17.7 \times 10^{-5}\ J$$

السعة النهائية ***Final capacitance***:

$$C_2 = \frac{1}{2} C_1 = 17.7 nF$$

لماذا؟

وبنفس العلاقة نحسب الطاقة المخزّنة النهائية بالتعويض عن C_2 نحصل على:

$$E_2 = 8.85\times10^{-5} J$$

ثم نحسب الفرق بين الطاقتين نحصل على مقدار التغيير في الطاقة:

$$\Delta E = (17.7-8.85)\times10^{-5} J$$

وحيث أن اللوحين تفصلهما مسافة

$$dx = 1-0.5 = 0.5mm$$

وبتطبيق العلاقة بين الشغل المبذول والتغيير في الطاقة المخزنة:

Fdx = change in stored energy

$$F = \frac{8.85 \times 10^{-5}}{0.5 \times 10^{-3}} = 17.7 \times 10^{-2} N$$

17.4 طرق توصيل المكثفات (التوالي *Series* والتوازي *Parallel*)

نذكّر هنا فقط الطالب بما تمَّ دراسته في مرحلة التعليم المتوسط بالقاعدة العامة للحصول على السعة الكلية للمكثفات من حيث التوالي والتوازي ، ويُلاحظ هنا أن هذه القاعدة تخالف ما حصل في المقاومات . لماذا؟

- **التوصيل على التوالي** *series*

السعـــــــة الكلية:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} \quad \dots\dots (30.4)$$

- **التوصيل على التوازي** *Parallel*

السعـــــة الكليـــــــــة:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \quad \dots \dots (31.4)$$

18.4 أمثلـــــــــة

مثال(18.4) مكثفان سعة كل منهما $(15\mu F, 20\mu F)$ تمَ توصيلهما على التوالي بفرق جهد $(600V\ dc)$ احسب : 1. الجهد على كل منهما؟ 2. الشحنة على كل منهما؟

الحـــل:

يمكن أن تحسب السعة الكلية لمكثفين على التوالي بحاصل ضربهما مقسوما على حاصل مجموعهما:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 8.571\mu F$$

(حقق النتيجة).

وفي حالة التوصيل على التوالي تكون السعة على المكثفات متساوية:

$$q = C_T V = 5.143mC$$

أما الجهد على كل مكثف يتم الحصول عليه بقسمة الشحنة على السعة لكل مكثف:

$$V_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{5.143mC}{15\mu F} = 3428\ V$$

$$V_2 = \frac{q}{C_2} = \frac{5.143mC}{20\mu F} = 257.2\ V$$

مثال(19.4) في الدائر الموضحة بالشكل (8.4) الشحنة الكلية $750\mu C$ عيّن كل من:

V_1 و V ثم C_2؟

$C_1=15\mu F$ ، C_2 ، $C_3=8\mu F$ ، V_1 ، $V_2=20V$ ، S ، V

شكل (8.4)

الحــل:

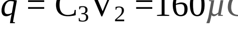
من خلال الشكل يمثل V_1 الجهد على المكثف ($15\mu F$) ويحسب الجهد على النحو التالي:

$$V_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{750\mu C}{15\mu F} = 50\ V$$

والجهد الكلي V هو حاصل جمع الجهدين:

$$V = V_1 + V_2 = 70V$$

أما المكثف C_3 المتصل مع المكثف C_2 والمشترك معه في الجهد ستكون عليه شحنة:



$$q = C_3 V_2 = 160\mu C$$

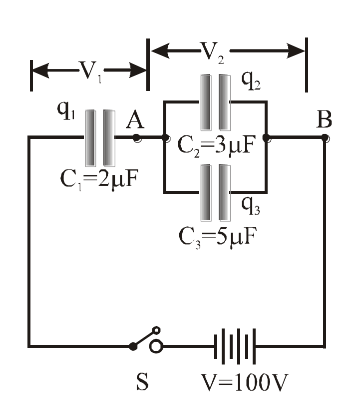
ومنها ستكون الشحنة على C_2:

$$q_2 = (750-160 = 590\mu C)$$

أما مقدار السعة يتم الحصول عليه بقسمة شحنته على جهده:

$$C_2 = \frac{590\mu C}{20V} = 29.5\mu F$$

مثال(20.4) في الشكل المقابل إحسب الشحنة على كل مكثف وكذلك فرق الجهد لكل مجموعة V_2, V_1 ؟



الحــل:

السعة المكافئة بين النقطتين B,A:

$$C_{||} = C_1 + C_2 = 3+ 5 = 8\mu F$$

السعة الكلية:

$$C_T = \frac{8 \times 2}{8+2} = 1.6\mu F$$

$$q_1 = C_T V = 100 \times 1.6 = 160\mu F$$

$$V_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{160}{2} = 80V$$

$$V_2 = V - V_1 = 100 - 80 = 20V$$

$$q_2 = C_2\, V_2 = 3\mu F \times 20V = 60\mu C$$

$$q_3 = C_3\, V_2 = 5\mu F \times 20V = 100\mu C$$

مثال(21.4) وصلت المكثفات ($10\mu F$,$20\mu F$,$40\mu F$) على التوالي بجهد ($399V$) لقوة دافعة كهربائية $e.m.f$:

أ. ما مقدار السعة الكلية؟

ب. ما مقدار الشحنة على كل مكثف؟

جـ. ما مقدار الجهد على كل مكثف؟

الحـــل:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\therefore \quad C_T = \frac{40}{7}\mu F$$

الشحنة الكلية:

$$q_T = C_T V = \frac{40}{7}(399) = 2280\mu C$$

وتكون على كل منها نفس مقدار الشحنة لاتصالها على التوالي،وبالتالي فإن الجهود على المكثفات:

$$V_1 = \frac{q_T}{C_1} = \frac{2280}{10} = 228V$$

$$V_2 = \frac{q_T}{C_2} = \frac{2280}{20} = 114V$$

$$V_3 = \frac{q_T}{C_3} = \frac{2280}{40} = 57V$$

مثال(22.4) مكثفان سعتهما ($6\mu F$,$10\mu F$)،إحسب سعتهما الكلية:

أ. في حالة التوازي؟

ب. على التوالي؟

جـ. بجهد (200V) إحسب الجهد على كل منهما، وكذلك الشحنة؟

الحــل:

أ. في حالة التوازي:

$$C_T = C_1 + C_2 = 6\mu F + 10\mu F = 16\mu F$$

ب. في حالة التوالي:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 3.75\mu F$$

ج.الجهد على كل منهما:

$$V_1 = \frac{VC_2}{C_1 + C_2} = 200 \times \frac{10}{16} = 125V$$

$$V_2 = \frac{VC_1}{C_1 + C_2} = 200 \times \frac{6}{16} = 75V$$

وتكون الشحنة:

$$q_1 = q_2 = q_T = C_T V_T = 3.75 \times 200 = 750\ \mu C$$

19.4 مســـــائل

1.4 مكثف ذو لوحين متوازيين المسافة بينهما ($0.5mm$) في الهواء ومساحة كل منهما الفعالة ($500cm^2$) تم توصيله بنضيدة ($100V$).احسب السعة و الشحنة؟

الجواب ($885pF, 0.88\mu F$)

2.4 مكثف ذو لوحين متوازيين في الهواء مساحة كل من اللوحين الفعالة ($50cm^2$) والمسافة بينهما ($1mm$) على كل منهما شحنة ($1770pF$) . احسب فرق الجهد بين اللوحين ، وإذا أصبحت المسافة بين اللوحين ($5mm$) ما التأثير الكهربائي عندئذ؟

الجواب($40V$,P.D *across plates increased to* $200V$)

يزداد فرق الجهد بين اللوحين إلى 200فولت

3.4 لوحان معزولان متوازيان مساحة كل منهما الفعالة ($600m^2$) والمسافة بينهما ($5mm$) في الهواء شُحنا إلى فرق جهد ($1000V$) احسب:

- السعـــــــة؟
- الشحنة على كل من اللوحين؟

ثم أُزيل مصدر الكهرباء وبقي اللوحان معزولين احسب عندئذ:

- فرق الجهد بين اللوحين إذا أصبحت المسافة بينهما ($10mm$) ؟
- فرق الجهد بين اللوحين إذا بقيت المسافة بينهما ($10mm$) ولكن المادة العازلة بينهما ذات سماحية نسبية 0.5 ؟

4.4 سُلط فرق جهد على مكثف ذي لوحين متوازيين ($500V$) مساحة كل من لوحيه ($0.025m^2$) يفصل بين لوحيه مادة عازلة سماحيتها النسبية 2.5 فإذا كانت سعة المكثف ($500\mu F$).احسب :

- الفيض الكهربائي؟

- كثافة الفيض الكهربائي؟
- شدة المجال الكهربائي؟

الجواب ($0.25\mu C, 0.01 mC/m^2, 45.3 MV/m$)

5.4 مكثف ذو لوحين متوازيين معدنيين مساحة كل منهما ($2000 cm^2$) و المسافة بينهما ($5mm$) ملأ الفراغ بين اللوحين بطبقة ورقية سمكها $2mm$ و سماحيتها النسبية 2 و شريحة زجاجية سمكها $3mm$ و سماحيتها النسبية 8 ثم وُصِّل المكثف بفرق جهد ($5kv$) احسب:

- سعة المكثف؟
- منحدر الجهد لكل من العازلين؟

الجواب ($1290pF$, $1820\ V/m$(paper),$453\ V/m$(glass))

6.4 مكثف ذو لوحين متوازيين مساحة كل منها لوحة ($2cm^2$) و يفصل بينهما ثلاثة طبقات من مادة عازلة سمك كل منها ($2mm$) وسماحتها النسبية (5,4,2) على الترتيب احسب سعة المكثف و الشدة الكهربائية لكل عازل إذا وُصِّل المكثف بفرق جهد($1000V$) ؟

الجواب ($18.6pF$, $5.26\times10^5 V/m$, $2.11\times10^5 V/m$)

7.4 مكثف ذو لوحين متوازيين سعته $1\mu F$ وفرق الجهد بين لوحيه ($6000V$) وضع عازل بين لوحيه سماحته النسبية (5) والذي يتحطم (*break down*) عندما يزيد المجال داخله عن ($30MV/m$).احسب:

أ. سمك العازل اللازم استخدامه؟

ب. المساحة الفعالة لكل من اللوحين؟

الجواب ($0.2mm, 4.5m^2$)

8.4 مكثف هوائي ذو لوحين متوازيين مساحة كل منهما ($10cm^2$) والمسافة بينهما ($5mm$). وضعت بينهما شريحة مساحتها ($10cm^2$) وسمكها ($5mm$) فإذا حركنا أحد اللوحين ($0.4cm$) لنعيد السعة إلى قيمتها الأصلية. ما مقدار ثابت العزل للشريحة؟
الجواب (5) راجع المثال رقم3

9.4 مكثف هوائي متعدد الألواح له 6 ألواح ثابتة و5 ألواح مشابهة لها متحركة المساحة الفعلية لكل منها ($120cm^2$) والمسافة بين كل لوحين متجاورين ($1mm$) وضُع المكثف في زيت سماحيته النسبية 5 احسب سعة المكثف؟
الجواب ($5.31pF$)

10.4 ما عدد كل من صفائح الخارصين *sheets of tin foil* والميكا *mica* لمكثف سعته ($0.33\mu F$) إذا كانت مساحة كل صفيحة من الخارصين ($82cm^2$). وسمك صفائح الميكا ($0.2mm$) وسماحيتها النسبية 5؟
الجواب (182 *sheets of mica*,183 *sheets of Tin foil*)

11.4 وصل مكثف سعته ($9\mu F$) على التوالي مع مكثفين معاً على التوازي سعة كل منهما ($2\mu F$,$4\mu F$) على الترتيب إحسب:
أ. سعة المنظومة؟
ب. إذا كان فرق الجهد على المنظومة ($20V$) فما مقدار الشحنة في المكثف الذي سعته ($9\mu F$)؟
الجواب ($3.6\mu F$,$72\mu C$)

12.4 مكثف يتكون من لوحين تفصلهما شريحة من مادة عازلة سمكها ($3mm$) وثابت عزلها الكهربائي ($\varepsilon_r = 4$). تم زيادة المسافة بين اللوحين ليسمح بوضع مادة اخرى سمكها ($5mm$) فإذا كانت السعة بعد وضع المادة الجديدة تساوي ثلث سعة المكثف الاولى.مامقدار ε_r للمادة الجديدة؟
الجواب (3.3)

13.4 إحسب السعة لمكثف ذي لوحين متوازيين مساحة كل من لوحيه ($60cm^2$) تفصلهما مادة عازلة سمكها ($1.5mm$) وسماحيتها (ε_r) إذا كان فرق الجهد على المكثف $1000V$ ؟

الجواب ($124pF$)

14.4 مكثف سعته ($5\times10^{-4}\mu F$) والمسافة بين لوحيه ($5mm$) في الهواء.مامساحةكل من لوحيه؟ وإذا تم وضع عازلين بين لوحيه سمك كل منهما ($2.5mm$) وسماحيتهما النسبية 2 و3 ،ما مقدار سعته في هذه الحالة؟

الجواب ($0.28m^2$,$0.0012\mu F$)

15.4 مكثف ذو لوحين متوازيين المساحة الفعلية لكل منهما ($100cm^2$) تفصلهما مسافة قدرها ($0.5mm$) لمادة عازلة.فإذا كانت سعة المكثف ($442pF$) وفرق الجهد بين طرفيه ($10kV$).إحسب:

أ. منحدر الجهد في العازل؟

ب. كثافة الفيض في العازل؟

جـ. السماحية النسبية للمادة العازلة؟

الجواب ($2\times10^7V/m$,$442mC/m^2$,2.5)

16.4 إحسب سعة مكثف يتكون من خمسة الواح تفصلهما مسافة ($1mm$) في الهواء.إذا علمت أن مساحة الوح ($20cm^2$).وما مقدار سعته عندما يغمر في زيت سماحيته النسبية 2.2؟

الجواب ($70.7pF$,$155.5pF$)

17.4 من مصدر dc وعبر مقاومة ($2M\Omega$) تم شحن مكثف خلال 2sec بحيث وصل 75% من قيمته النهائية. ما مقدار سعة المكثف؟

الجواب ($1.8m\ F$)

18.4 وصُل مكثف ($8\mu F$) مع مقاومة ($0.5M\Omega$) عبر مصدر(200V).احسب:

1. التيار الابتدائي للشحن؟

2. التيار وفرق الجهد بعد 4sec من غلق الدائرة؟

الجواب ($400\mu A$,$147\mu A$,126.4V)

19.4 ما مقدار المقاومة التي يجب توصيلها على التوالي بمكثف $4\mu F$ بحيث يكون ثابت زمن الدائرة $2sec$ ؟

20.4 دائرة توالي RC تم توصيلها بمصدر مستمر 120V وتيار الشحن الابتدائي $4m\ A$ وثابت زمن الدائرة $3.6sec$. احسب كلا من R و C ؟

الجواب $(30k\Omega, 129\mu F)$

21.4 تم شحن مكثف $20\mu F$ إلى فرق جهد 500V. ثم فرُغ خلال مقاومة مجهولة ،وبعد دقيقة أصبح فرق الجهد بين طرفيه 200V. ما مقدار قيمة المقاومة؟

الجواب $(3.274M\Omega)$

22.4 وصل على التوالي مقاومة R ومكثف $(2\mu F)$ بمـــصدر جهـــد مســـتمر $(200V\ d.c)$ ،ثم وصل بالمكثف مصباح نيون جهده (120V).إحسب R التي تجعل المصباح ينبض خلال $(5s)$ من قفل المفتاح؟

الجواب $(2.73M\Omega)$

23.4 مكثف $(100\mu F)$ وصل بمقاومة $(8k\Omega)$ على التوالي.قدر قيمة ثابت الزمن τ للدائرة؟ وإذا وصلت المجموعة بمصدر جهد مستمر (100V d.c)، إحسب:

أ. معدل ارتفاع فرق الجهد خلال المكثف $\left(\frac{dV}{dt}\right)$ ؟

ب. تيار الشحن i_m؟

جـ. الشحنة الابتدائية عند $t = 0$ ؟

الجواب $(0.8ms, 125V/s, 12.5mA, 0.01\mu C)$

الفصل الخامس

1.5 الكميات الكهربائية.

2.5 مفهوم القوة الدافقة الكهربائية وفرق الجهد.

3.5 التيار الكهربائـــــــــــــي.

4.5 المقاومة.

5.5 أنواع المقاومـــــات.

6.5 تأثير الحرارة على المقاومة.

7.5 المعامل الحراري لدرجات حرارة مختلفة.

8.5 أمثلـــــــــة.

9.5 القدرة الكهربائية.

10.5 الطاقة الكهربائية.

11.5 امثلـــــــــة.

12.5 مســــــائل.

1.5 الكميات الكهربائية *Electrical Quantities*

الكميات الكهربائية الأساسية هي الشحنة *charge* والتيار *current* والجهد*voltage* والمقاومة *resistance* والطاقة *energy* والقدرة *power*،وكل الكميات الكهربائية ناتجة عن الشحنة والتي تفهم بدراسة تركيب المادة حيث تتكون المادة من جسيمات صغيرة جدا تسمي الذرات *atoms* وتحتوي الذرات على كل من الإلكترونات ذات الشحنة السالبة والبروتونات ذات الشحنة الموجبة والنيوترونات المتعادلة الشحنة ، وهذه الجسيمات هي نفسها تتكون من جسيمات أخرى خارج نطاق دراستنا.

1.1.5 الشحنة الكهربائية *Electrical Charges*

الشحنة هي أحد الخواص الذاتية للأجسام وتكون المادة في حالتها العادية متعادلة كهربائيا بمعني أن عدد الإلكترونات يساوي عدد البروتونات أما عند إثارة المادة من حالتها العادية بزيادة عدد الإلكترونات عن عدد البروتونات وتصبح الشحنة سالبة أو نقص عدد الإلكترونات عن البروتونات وتصبح الشحنة موجبة. الشحنة الأساسية هي شحنة الإلكترونات وهي سالبة، قيمتها $e^- = 1.6\times10^{-16}\text{C}$ حيث أن الشحنة لابد أن تساوي عددا صحيحا للشحنة الأساسية.

2.1.5 الجهد الكهربـــائي *Electrical Potential*

هو أحد الكميات الكهربائية الأساسية وعادة يرمز له بالرمز V المأخوذ من *Voltage*

تعريف الجهـــــــد *Definition of Potential*

يعرف الجهد بأنه الشغل *work* اللازم لنقل وحدة الشحنات من نقطة إلى أخرى وحدته فولت *volt* التي تكافئ جول لكل كولوم أ ي أن $V=J/C$ أما الجهد $V=W/q$ حيث

V: الجهد ويقاس بالفولت V (وقد تم دراسة الجهد في الفصل الثالث في حالة الكهرباء

الساكنة)

W: الشغـــــــل ويقاس بالجول J

q: الشحنـــــــــــة وتقاس بالكولوم C

3.1.5 مصـــــــادر الجهـــد *Potential Sources*

- النضائـــــــــد *Batteries*
- مصادر الإمداد بالقدرة الكهربائية *power supplies*
- المولدات الكهربائيـــــة *Electrical Generators*
- الخلايــــــــــا الشمســــــــــية *Solar Cell*
- توليد القدرة باستخدام الرياح *Wind Power Station*
- المولدات الحراريــــــــــــة *Thermal Stations*
- المولدات النوويــــــــــــة *Nuclear Stations*

4.1.5 فرق الجهد *Potential differece*

الفرق في الجهد لجسمين مشحونين يسمى فرق الجهد.إذا كان لجسمين جهدان مختلفين فانه يوجد فرق في الجهد بينهما. مثلا الجسمان A و B فيهما جهدان 5V و 3V على الترتيب ومن الواضح أن الجهد على A أكبر من الجهد على B. فإذا أتصل الجسمان معا،فان الالكترونات تنساب من B إلى A وهو الاتجاه الحقيقي أما التيار الاصطلاحي فهو من A إلى B وعندما يحصل الجسمان على نفس الجهد سيتوقف انسياب التيار ومن هنا يتم الاستنتاج بأن التيار ينساب فقط عندما يكون هناك فرق في الجهد أحيانا يُسمى الفولتية *voltage* وله نفس وحدة الجهد.

2.5 مفهوم القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد

Concept of E.M.F and Potential Difference

يوجد فرق بين القوة الدافعة الكهربائية *e.m.f* وفرق الجهد. فالقوة الدافعة كهربائية لجهاز *device* (نضيدة *battery* مثلا) هي قياس *measure* لطاقة النضيدة *battery* التي تعطي لوحدة الشحنة بالكولوم وهكذا إذا كانت النضيدة تعطي (4*J*) من الطاقة للكولوم الواحد يمكن القول أنّ القوة الدافعة الكهربائية *emf.* تساوي (4*V*) وهي الطاقة التي تعطى لكل كولوم في النضيدة نتيجة للتفاعل الكيميائي(*chemical action*)

أما فرق الجهد بين نقطتين مثلا A وB هو قياس للطاقة التي تمّ استخدامها لوحدة الشحنة الكولوم بتحريكها من A إلى B. وهكذا إذا كان فرق الجهد بين النقطتين مثلا A و B هو (2*V*) فهذا يعني أنّ كل كولوم سيعطي طاقة مقدارها (2*J*) لكي يتحرك من A و B ويجب أن يؤخذ في الاعتبار مايلي:

- من خلال اسم القوة الدافقة الكهربائية يتبادر إلى الذهن بأنها القوة التي تدفع بالتيار. وهذا ليس صحيحا لأنها ليست قوة ولكنها طاقة تعطي للشحنة عن طريق جهاز كهربائي مثل النضيدة.
- القوة الدافقة الكهربائية تحافظ على استمرار فرق الجهد بينما فرق الجهد يسبب في انسياب التيار.

1.2.5 العلاقـــــــــــة بين فرق الجهد والمجال

عادة ما ينشأ عن الفرق في الجهد بين لوحين معدنيين تفصلهما مسافة *d* مجال كهربائي E يتناسب طرديا مع الفرق في الجهد وعكسيا مع المسافة بين المعدنيين بمعنى:

$$E = V/d \quad \ldots\ \ldots\ (1.5)$$

المجال الكهربائي = (الفرق في الجهد /المسافة) وبذلك تكون وحدة المجال الكهربائي (فولت/متر)*V/m* . (راجع الفصل الثالث)

3.5 التيار الكهربائـــــــــــي *Electric Current*

يعتمد التيار الكهربائي على حركة الشحنات الموجبة يرمز له بالحرف I

تعريف التيار الكهربائـــــــــــــي *Definition of Electric Current*

هو معدل انسياب الشحنة في اتجاه ما بالنسبة للزمن تحت تأثير فرق الجهد *Potential Difference* بمعني أن:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \dots\dots (2.5)$$

$$I = \frac{ne}{t} \quad \dots\dots (3.5)$$

حيث n عدد الإلكترونات وe شحنة الإلكترون

I: التيار ويقاس بالأمبيـــــــــــــــــــر

q: الشحنـــــــــــــة وكما سبق تقاس بالأوم

t: الزمن ويقاس بالثانيــــــــــــــــــــــة

ويتطلب انسياب التيار في دائرة كهربائية مصدرا خارجيا يحرك الإلكترونات خلال الموصل بين نقطتين يوجد فرق في الجهد بينهما، ويتوقف انسياب التيار إذا تساوى الجهدان بين النقطتين أو بعبارة أخرى فرق الجهد بين النقطتين يساوي صفراً.

أنواع التيـــار الكهربائي *Current Types*

تختلف أنواع التيار باختلاف شكل المصدر كما يلـــــــــــــــــــــي:

1. تيار مستمر نقي *pure D.C* وهو ثابت القيمة لا يغير اتجاهه مع الزمـــــــــن
2. تيار مستمر نبضي *pulsating currant* وهو تيار مستمر تتغير قيمته دوريا ولا يتغير اتجاهه.
3. تيار متردد A.C هو الذي يغير من قيمته واتجاهه مثل الموجة الجيبيـــــــــة

.*Sine Wave*

نذكر في هذا المقرر الكميات الكهربائية التي سيتم دراستها في الجدول(1.5)

جدول(1.5)

الكميـــــــــة	رمز الكمية	وحدة قياس الكمية	رمز الوحدة
Electric Charge الشحنة	Q أو q	Coulomb كولوم	C
Electrical Currentالتيار الكهربائي	I	Ampere أمبير	A
Resistance المقاومة	R	Ohm	Ω
Workوالشغل Energy الطاقة	E و W	Jouleجول	J
Electric potential الجهد الكهربائي	V	Volt فولت	V
Power القدرة	P	Watt وات	W
Inductance الحـــث	L	Henryهنري	H
Capacitance السعة	C	Faradفاراد	F
Impedance المعاوقة	Z	Ohmأوم	Ω
Reactance المفاعلة	X	اوم	Ω
Frequencyالتردد	f	Hertz	Hz

وسيتم دراسة المعاوقة عند الحديث عن التيار المتردد **(مقرر دوائر كهربائية** II**)** فهي تشمل جزيئين أحدهما حقيقي وهو المقاومة والآخر تخيلي يمثل المفاعلة والتي قد تكون حثية أو سعوية أو كلاهما.

4.5 المقاومة *Resistance*

المعارضة *Opposition* التي تبذلها المادة ضد انسياب التيار الكهربائي تسمى مقاومة *Resistance* حيث أن التيار هو انسياب الالكترونات الحرة فان المعارضة التي تبذلها المادة ضد انسياب الالكترونات الحرة هي المقاومة.

وتظهر هذه المعارضة لآن الذرات والجزئيات التي تحتويها المادة تعوق *Obstruct* انسياب هذه الالكترونات.

تعطي المواد مثل (الفضة و النحاس و الألمونيوم) معارضة قليلة ضد انسياب التيار وتسمى موصلات.بالمقابل توجد مواد أخرى تقدم مقاومة عالية ضد انسياب التيار (الزجاج والمطاط والميكا والخشب الجاف)وتسمى هذه المواد بالعوازل (*Insulators*) ويلاحظ أنّ المقاومة هي احتكاك كهربائي تبذله المادة ويسبب حرارة مع انسياب التيار وهذه الحرارة ناتجة عن التصادم بين جزيئات المادة و الذرات مع الالكترونات الحرة.

وحدة المقاومة *Resistance unit*

الوحدة العلمية للمقاومة هي الاوم يرمز لها Ω ويعرف الأوم بأنه مقاومة موصل فرق الجهد بين طرفيه (1V) وينساب خلاله تيار مقداره (1A).

العوامل التي تعتمد عليها المقاومة *Factors upon which Resistance depends*

1. تتناسب مقاومة الموصل مع طوله $Ra\ l$
2. تتناسب مقاومة الموصل عكسيا مع مساحة مقطعة

$$Ra\frac{l}{A} \quad \dots\dots (4.5)$$

3. تعتمد مقاومة الموصل على طبيعة مادته.
4. تعتمد مقاومة الموصل على درجة الحرارة خلال العوامل الثلاث الأول

$$Ra\frac{l}{A}$$

$$R = \rho\frac{l}{A} \quad \dots\dots (5.5)$$

حيث ρ (وهو حرف اغريقي يُقرأ رو) يعرف بالمقاومة النوعية (*Resistivity*) لمادة الموصل ومن العلاقة السابقة إذا كانت

$$L = 1m,\ A = m^2$$

فإن

$$R = \rho$$

وبذلك فان المقاومة النوعية هي مقاومة موصل طوله $L = m$

ومساحة مقطعه $A = m^2$

وحدة المقومة النوعية *Resistivity Unit*

من العلاقة:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

فإن

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

ومن هنا فان وحدة المقاومة النوعية ρ هي $\Omega .cm$ أو $\Omega .\ m$ والجدول(2.5) يسرد بعض قيم المقاومة النوعية لبعض المواد:

جدول(2.5)

Material	*Nature*	*Resistivity* (Ω-m) @ 20C°
Copper	Metal	1.7×10^{-8}
Iron	Metal	9.68×10^{-8}
Manganin	Alloy	48×10^{-8}
Nichrome	Alloy	100×10^{-8}
Pure silicon	semiconductor	2.5×10^{3}
Pure germanium	semiconductor	0.6
glass	Insulator	10^{10}

5.5 أنواع المقاومـــــات *Resistances Types*

توجد أنواع مختلفة من المقاومات نذكر منها:

- المقاومة الضوئيــــة *opto- photo resistors* يتأثر هذا النوع بالضوء حيث تقل المقومة بتسليط الضوء على سطحها وتزيد هذه المقاومة بحجب الضوء عنها حتي تصل نهايتها القصوى عند حجب الضوء عنها كليا.
- المقاومة الحرارية *thermal resistance* يتأثر هذا النوع بدرجة الحرارة حيث تقل مقاومتها بزيادة درجة الحرارة وتزداد مع النقص في درجة الحرارة ، وهناك أنواع من المقاومات الحرارية يبقي ثابتا عند درجة حرارة معينة فإذا تجاوزتها أزدادت مقاومتها فجأة.
- المقاومة التي تعتمد على الجهد voltage dependence resistors يرمز VDR وتقل قيمة المقاومة بزيادة الجهد المسلط عليها.
- المقاومات الخطيــة linear resistance نذكر منها:

1. مقاومة السلك الملفوف.

2. المقاومات المتغيرة حيث يتم الحصول من المقاومة الواحدة على عدد من المقاومات حسب وضع الطرف المنزلق ويتم التحكم في قيمة هذا النوع من المقاومات بطريقة مجزئ الجهد *potentiometer* ويصل مدى التحكم في مقدار المقاومة إلى عدد من الميجا أوم *Mega Ohm* أوالريوستات (المقاومة المتغيرة) ويصل مدي التحكم إلى عدد من الكيلو أوم *Kilo Ohm* وتصنع من السلك الملفوف وتمتص كمية كبيرة من الطاقة

3. المقاومات الكربونية وهي الأكثر انتشارا وتتم قراءة مقدارها بواسطة شفرة الألوان أو جهاز الأوم ميتر.

التوصيل *Conductance*

التوصيل هو مقلوب مقاومة الموصل يرمز له G

$$G = \frac{1}{R} \quad \dots\dots (6.5)$$

ووحدته مقلوب الأوم (*mho*) وعمليا يسمى سيمين Siemen يرمز له S

الموصلية *Conductivity*

الموصلية هي مقلوب المقاومة النوعية يرمز لها بالحرف σ حيث $\sigma = 1/\rho$ وبذلك تكون وحدة الموصلية هي (sm^{-1})$siemen\ meter^{-1}$.

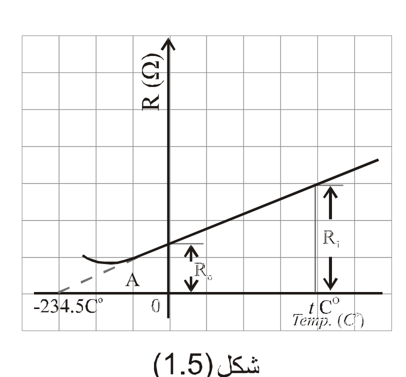
6.5 تأثير الحرارة على المقاومة *Effect of temperature on resistance*

تتغير قيمة المقاومة بصورة عامة مع مقدارالتغير في درجة الحرارة . ويختلف تأثير الحرارة على المقاومة باختلاف نوع المعدن المصنوعة منه وسيتم توضيح ذلك كالآتي:

- تزداد مقاومة المعدن النقي (النحاس الألومونيوم) بزيادة درجة الحرارة ونبدو هذه العلاقة خطيه لمدى منتظم لدرجة الحرارة . وحيث أن مقاومة المعادن تزداد مع زيادة درجة الحرارة فإن المعامل الحراري يكون موجباً *positive temperature coefficient of resistance*

- أما مقاومة المحاليل الإلكترونية (الزجاج– الميكا – المطاط) ومقاومة أشباه الموصلات (الجرمانيوم– السيليكون) تنقص مع زيادة درجة الحرارة وبذلك يكون معاملها الحراري سالبا وتكون العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة أسية.

- مقاومة السبائك تزداد أيضا مع درجة الحرارة ولكن زيادة طفيفة وغير منتظمة ولبعض السبائك ذات المقاومة العالية (*Eureka ,Magnin*) التغير في قيمة المقاومة لا يكاد يذكر من الناحية العملية لمدى واسع من درجات الحرارة. الشكل (1.5) يوضح



شكل(1.5)

العلاقة بين درجة الحـــرارة والمقاومـــة لمعـــدن النحاس وهي علاقة خطية فإذا مـــد الخـــط إلـــى الخلف فإنه سيقطع محور درجات الحرارة عنـــد ($-243.5C^{o}$) وهذا يعنـــي نظريـــا أن مقاومـــة النحاس تساوي صفراً عند هذه الدرجـــة ولكـــن عمليا ينحـــرف *depart* المنحنـــي عـــن الخـــط المستقيم عند درجات الحرارة المنخفضة.

معامل المقاومة الحرارية *Temperature coefficient of Resistance*

إذا أعتبر أن موصلا مقاومته R_O عند $0C^{o}$ ثم اصبحت R_θ عند θC^{o} فإن مقدار الزيادة في المقاومة هو $R_\theta - Ro$ في مدى درجات الحرارة الطبيعي :

1. يتناسب طرديا مع المقاومة الأصلية $R_\theta - R_0 \propto R_0$
2. يتناسب طرديا مع الارتفاع في درجة الحرارة $R_\theta - R_0 \propto \theta$
3. يعتمد نوع المادة ويجمع (1) و(2) نحصل على $R_\theta - R_0 = \alpha_0 R_0 \theta$

حيث α_o مقدار ثابت ويسمى المعامل الحراري للمقاومة عند $0C^{o}$ وعادة ما تؤخذ درجة الحرارة المرجعية *reference temperature* عند الصفر المئوي والمقاومة المرجعية أيضا عند هذه الدرجة وتسمى R_0 وبتنسيق هذه العلاقة من 1 و 2 نحصل على العلاقة

$$R_\theta = R_0(1 + \alpha_0 \theta) \quad \ldots\ldots (7.5)$$

$$\alpha_0 = \frac{R_t - R_0}{R_0 \theta} \quad \ldots\ldots (8.5)$$

وبذلك المعامل الحراري للمقاومة لمادة هو الزيادة في المقاومة مقسوما على المقاومة

الأصلية مقسوما على درجة الحرارة وبذلك تكون وحدة α هي C^{-1} وحيث أن للنحاس معامل حراري لمقاومته مقداره 0.00426 / C° فهذا يعني أن لسلك النحاس مقاومة (1Ω) عند (0C°) ثم تزداد لمقدار Ω 0.00426 عندما ترتفع درجة حرارته (1C°) بمعنى Ω 1.00426 عند (1C°) وبالمثل إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى (10C°) فإن مقاومة النحاس Ω 1.0426 = 0.00426 × 10 + 1 إذا كان للموصل المقاومات R_0 و R_1 و R_2 عند كل من $0\ C^0$ و $\theta_1 C^0$ و $\theta_2 C^0$ على الترتيب فإن:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha_0\theta_1)$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha_0\theta_2)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{(1 + \alpha_0\theta_2)}{(1 + \alpha_0\theta_1)}$$

وتستخدم هذه العلاقة غالبا في تعيين درجة حرارة لفات *Windings* الآلات الكهربائية.حيث مقاومة الآلات تقاس قبل وبعد التشغيل. بوضع R_1 وθ_1 قبل التشغيل، R_2 وθ_2 بعد التشغيل وكل منR_1، R_2 يمكن قياسهما وكذلك لأنها درجة حرارة الوسط المحيط وبذلك تحسب θ_2 من العلاقة السابقة ويكون متوسط الارتفاع في درجة الحرارة $(\theta_2 - \theta_1)$.

يرتبط عمر الجهاز الكهربائي بدرجة حرارة عزله فالأكثر درجة حرارة اقل عمراً. وينخفض العمر الفعلي للجهاز الكهربائي إلى النصف تقريبا لكل مرة تزيد فيها درجة الحرارة $10C^0$.هذا يعني لو كان هناك محرك عمره المتوقع 8 سنوات عندما يشغل عند $100C^0$ فإن عمره المتوقع سيصبح 4 سنوات عند $110C^0$ ثم سنتين عند $120C^0$ أما عند $130C^0$ سيصبح سنة واحدة.

التمثيل البياني للمعامل الحراري *Graphical determination of* α

يمكن للمعامل الحراري أن يعين بيانيا من خلال العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة للمادة من الشكل (2.5) الذي يمثل درجة الحرارة /مقاومة الموصل. الشكل يبين خطاً مستقيما AX وهذه الحالة لكل الموصلات.

المقاومة R_0 التي يمثلها OA عند $0C^0$ تصبح R_θ عند θC^0 وبالتعريف:

$$\alpha_o = \frac{R_\theta - R_o}{R_o \theta}$$

ولكن $P_\theta - R_0 = BC$ و θ الارتفاع في درجة الحرارة يساوي AB وبالتعويض

شكل (2.5)

$$\alpha_o = \frac{BC}{R_o AB} \quad \dots \dots (9.5)$$

ولكن BC/AB هو ميل الخط المستقيم يعني:

$$\alpha_o = \frac{slope}{R_o}$$

ويؤخذ في الاعتبار النقطتان :

- يعتمد المعامل الحراري α على درجة الحرارة فيمكن حسابه عند أي درجة حرارة باستخدام العلاقة:

$$\alpha_\theta = \frac{slope}{R_\theta}$$

- تعتبر القيمة القصوى للمعامل الحراري عند α_0 وتنقص مع زيادة درجة الحرارة وهذا يتبين من حقيقة ميل الخط المستقيم الذي يمثل العلاقة بين درجة الحرارة و المقاومة، وأن R_0 لها قيمة صغري.

7.5 المعامل الحراري لدرجات حرارة مختلفة

Temperature Coefficient at Various Temperatures

بالأخذ في الاعتبار موصل مقاومته R_0 عند $0C^0$ و R_1 عند θ_1 وأن معامليه الحراريين α_0 و α_1 على الترتيب من العلاقتين:

$$\alpha_\theta = \frac{slope}{R_\theta}$$

$$\alpha_o = \frac{slope}{R_o}$$

نجد أن ميل الخط المستقيم الشكل(3.5) يساوي كل من $\alpha_0 R_0 = \alpha_1 R_1$ وحيث أن الميل ثابت فإن:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_o R_o}{R_1} = \frac{\alpha_o R_o}{R_o(1+\alpha_o\theta_1)} = \frac{\alpha_o}{1+\alpha_o\theta_1} \quad \ldots\ldots (10.5)$$

وبالمثل

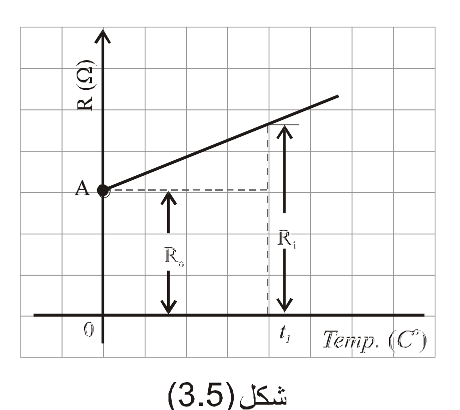
$$\alpha_2 = \frac{\alpha_o}{1+\alpha_o\theta_2}$$

بطرح مقلوب α_1 من α_2 نجد أن:

$$\alpha_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + (\theta_2 - \theta_1)}$$

وهذه العلاقة تستخدم لحساب المعامل الحراري المرجعي بمعلومية معامل حراري آخر عند درجة حرارة مرجعية أقل منه مثلا إذا عرفنا المعامل الحراري عند $20C^o$ فإنه يمكننا حساب المعامل الحراري عند $25C^o$ ثم تستخدم العلاقة الآتية:

$$R_{\theta2} = R_{\theta1}[1 + \alpha_{\theta1}(\theta_2 - \theta_1)]$$



شكل(3.5)

8.5 أمثلـــــــــــة

مثال(1.5) ملف مجال لمحرك كهربائي مقاومته 250Ω عند $15C^o$ احسب مقاومة الملف عندما يسخن المحرك إلى $45C^o$ ؟ بفرض أن $\alpha_o = 0.00428/C^o$.

الحـــل:

$$R_1 = 250\Omega,\ \theta_1=15\ C^o,\ \theta_2 = 45C^o,\ \alpha_o = 4.28\times10^{-3}/C^o$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1+\alpha_0\theta_2}{1+\alpha_0\theta_1} = \frac{R_2}{250} = \frac{1 + 4.28\times10^{-3}\times45}{1 + 4.28\times10^{-3}\times15}$$

$$R_2 = 280.2\Omega$$

مثال(2.5) سلك نحاس مقاومته 350Ω عند الصفر المؤوي وكذلك معامل حراري عند الصفر المئوي $4.62\times10^{-3}/C^o$ احسب مقاومته عند $60C^o$؟

الحـــل:

$$R_1 = R_o(1 + \alpha_o\theta_1) = 350(1 + 4.26\times10^{-3}\times60) = 439.6\Omega$$

مثال(3.5) مقاومة كربون مقدارها 120Ω عند $16C^{o}$ وعندما وصلت في دائرة كهربائية مر خلالها تيار فارتفعت درجة حرارتها إلى $32C^{o}$ فاذا كان المعامل الحراري للكربون $\alpha_o = -0.00048/C^{o}$ احسب المقاومة عند هذا الظرف من درجة الحرارة؟

الحـــل:

تتبع خطوات المثال رقم 1 تحصل على R_2=119.1Ω

مثال(4.5) مقاومة ملف محول 460Ω عند $25C^{o}$ بعد التشغيل أصبحت مقاومته 520Ω فإذا كان المعامل الحراري للمقاومة $\alpha_{20} = 1/250$ لكل درجة مئوية ما متوسط ارتفاع درجة حرارة الملف؟

الحـــل:

من العلاقة:

$$\alpha_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + (\theta_2 - \theta_1)}$$

يتم حساب المعامل الحراري عند $25C^{o}$ بمعني أن

$$\alpha_{25} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{20}} + (\theta_2 - \theta_1)} = \frac{1}{250 + 5} = \frac{1}{255}/C^{o}$$

ثم التعويض في العلاقة:

$$R_{\theta 2} = R_{\theta 1}[1 + \alpha_{\theta 1}(\theta_2 - \theta_1)]$$

لحساب مقدار ارتفاع درجة حرارة الملف:

$$(\theta_2 - \theta_1) = \frac{1}{\alpha_{25}}\left(\frac{R_\theta}{R_{25}} - 1\right) = 255\left(\frac{520}{460} - 1\right) = 33.26C$$

مثال(5.5) مصباح كهربائي (120V,60W) من التنجستن تم قياس مقاومته عند $20C^o$ فكانت 20Ω ما درجة الحرارة الطبيعية التي يتحملها المصباح عند التشغيل؟

الحـــل:

المعامل الحراري للتنجستن عند $20C^o$

$$\alpha_{20} = 5 \times 10^{-3}/C^o$$

تيار التشغيل للمصباح:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{60}{120} = 0.5A$$

وبذلك يجب أن تكون مقاومته:

$$R_\theta = \frac{V}{I} = \frac{120}{0.5} = 240\Omega$$

وبذلك يكون لدينا:

$$R_{20} = 20\Omega \quad , \quad R_\theta = 240\Omega \quad , \quad \alpha_{20} = 5\times10^{-3}/C^o$$

وبالتعويض في العلاقة:

$$R_\theta = R_{20}[1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]$$

$$240 = 20[1 + 0.005(\theta - 20)]$$

وبحل المعادلة السابقة نحصل على قيمة θ:

$$\theta = 2220C^o$$

مثال(6.5) موصل مساحة مقطعه ($10cm^2$) ومقاومته النوعية ($7.5\mu\Omega\text{-}cm$) ماذا ستصبح مقاومته بالاوم لكل كيلومتر (Ω/km) عندما تكون درجة حرارته ($40C^o$)؟ .($\alpha_o = 0.005/C^o$)

الحــل:

من العلاقة:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$\rho_{40} = \rho_0[1 + 40\alpha_0]$$

$$= 7.5[1 + 40 \times 0.005] = 9\mu\Omega cm$$

$$= 9 \times 10^{-5}\Omega.m$$

$$R_{40} = \rho_{40}\frac{l}{A} = \frac{9 \times 10^{-5}(10^3)}{10 \times 10^{-4}} = 0.09\Omega$$

مثال(7.5) ملف من البلاتين مقاومته (3.146Ω) عند $40C^o$ ومقاومته (3.767Ω) عند $100C^o$.إحسب مقاومته عند $0C^o$ ؟ ثم معامله الحراري عند $40C^o$ ؟

الحــل:

$$R_{40} = R_0[1 + 100\alpha_0]$$

$$R_{40} = R_0[1 + 40\alpha_0]$$

بالتعويض

$$\frac{3.767}{3.146} = \frac{1 + 100\alpha_o}{1 + 40\alpha_o}$$

$$\therefore \quad \alpha_o = 0.00379/C^o$$

$$R_{40} = R_0[1 + 40\alpha_0]$$

$$3.146 = R_0[1 + 0.00379 \times 40]$$

$$R_o = \frac{3.146}{1 + 0.00379 \times 40} = 2.732\Omega$$

$$\alpha_{40} = \frac{\alpha_o}{1 + 40\alpha_o} = \frac{0.00379}{1 + 40 \times 0.00379} = \frac{1}{280} C^{-1}$$

مثال(8.5) ملفان مقاومتهما (600Ω ,300Ω) ومعاملا الحرارة لكل منهما 0.1% و0.4% على الترتيب عند $20C^o$ تم توصيلهما على التوالي،إحسب مقاومة المجموعة عند $50C^o$ ما معامل الحرارة الفعال للمجموعة؟

الحـــل:

مقاومة الملف الاول

$$R_{50_1} = R_{20}[1 + \alpha_{20}(50 - 20)]$$

$$= 600[1 + 0.001 \times 30] = 618\Omega$$

مقاومة الملف الثاني

$$R_{50_2} = 300[1 + 0.004 \times 30] = 336\Omega$$

مقاومة الملفين على التوالي عند $50C^o$:

$$R = R_1 + R_2 = 618 + 336 = 954\Omega$$

مقاومة الملفين عند $20C^o$

$$R = 900\Omega$$

بوضع β المعامل الحراري للمجموعة عند $20C^o$

$$R_{50} = R_{20}[1 + \beta(50 - 20)]$$

$$954 = 900[1 + \beta(50 - 20)]$$

$$\beta = 0.002C^{-1}$$

9.5 القدرة الكهربائية *Electrical power*

معدل تغير الشغل في الدائرة الكهربائية يسمى القدرة الكهربائية *electric power* بمعني أن القدرة الكهربائية = (الشغل الذي يحدث في الدائرة الكهربائية مقسوما على الزمن) $p = W/t$ ومن تعريف الجهد الكهربائي والعلاقة بين الجهد والتيار والمقاومة في المعادن الخاضعة للعلاقة الخطية (ما يعرف بقانون أوم):

$$V = Work/Charge = W/q = VIt/t = VI = I^2R = V^2/R \quad \dots \dots (11.5)$$

وكل من هذه القوانين المذكورة تستخدم لحساب القدرة الكهربائية في مسائل التيار المستمر *d.c*

ويتم اختيار أي منها حسب الكميات المعلومة أو التي يمكن تعيينها بسهولة.

وحدة القدرة الكهربائية *Unit of electric Power*

الوحدة الأساسية للقدرة الكهربائية هي (جول/ الثانية) أو الوات

Watt = Joule/Second

أو اختصارا J/s . تستهلك الدائرة واتا واحداً $1W$ إذا كان فرق الجهد فولتا واحداً $1V$ ينتج أمبيراً واحداً 1A ينساب خلال الدائرة.

القدرة بالوات= الجهد بالفولت × التيار بالأمبير

$$Voltage\ in\ Volt \times current\ in\ Ampare = Power\ in\ watt$$

10.5 الطاقة الكهربائية *Electrical Energy*

محصلة الشغل الذي يحدث في الدائرة الكهربائية يسمى الطاقة الكهربائية بمعنى أن الطاقة الكهربائية تساوي حاصل ضرب القدرة الكهربائية والزمن

$$Elec.\ Energy = Elec.\ power \times time = V\,It = I^2Rt = (V^2/R)t \quad \ldots(12.5)$$

وتعتمد وحدة الطاقة الكهربائية على وحدتي القدرة والزمن وبذلك يمكن أن تكون وحدة الطاقة الكهربائية:

- الطاقة بالوات− ثانية = القدرة بالوات والزمن بالثانية
  $E\ (W\text{-}s) = p\ (W) \times t\ (s)$

- الطاقة بالوات−ساعة = القدرة بالوات والزمن بالساعات
  $E\ (W\text{-}hr) = p\ (W) \times t\ (hr)$

- الطاقة بالكيلوات−ساعة = القدرة بالكيلوات والزمن بالساعات
  $E\ (kWhr) = p\ (kw) \times t\ (hr)$

والوحدة الأخيرة هي الأكثر استخداما في الحياة اليومية وتسمى وحدة *kWhr* بوحده التجارة الدولية *Board of Trade* (B.O.T). والعلاقة بين الكيلوات−ساعة والجول

$$1kWhr = 1000 \times 3600 = 36 \times 10^5 J$$

11.5 امثلــــــــة

مثال(9.5) سخان ماء قدرته الكهربائية 2*kw* وصل بمصدر كهرباء 240V ينقطع التيار عند 10A فهل سينقطع التيار عندما يتم تشغيل السخان؟

الحـــــل

التيار الذي يسحبه السخان

$$I = P/V = 2000/240 = 8.3A$$

وحيث أن التيار أقل من 10A فإن التيار لن ينقطع.

مثال(10.5) محرك سيارة قدرته 1*kw* كم يلزمه أن يسحب تيارا من نضيدة *Battery* قوتها الدافعة 12V ليتم تشغيله؟

الحـــل:

التيار الذي يسحبه محرك السيارة:

$$I = P/V = 1000/12 = 83.3A$$

مثال(11.5) سخان كهربائي يعمل من خلال تسليط فرق جهد قدره 120V إلى سلك من النيكروم الذي يمتلك مقاومة كلية 8Ω.احسب التيارالمحمول بواسطة السلك ومعدل القدرة للسخان؟

الحـــل:

حيث أن الفرق في الجهد

$$\Delta V = I\,R$$

والتيار

$$I = \Delta V/R = 120/8 = 15A$$

وبذلك يمكن حساب معدل القدرة

$$P = I^2R = (225)(8) = 1.8kW$$

مثال(13.5) ما الطاقة اللازمة لطبخ لحم جمل في فرن كهربائي (240V,20A) لمدة 4h ؟

الحـــل:

الطاقة = حاصل ضرب القدرة في الزمن:

$$E = Pt = I\,Vt = (20)(240)(4)/1000 = 19.2\ kWh$$

مثال(14.5) مقاومة 680Ω وصلت في دائرة بحيث تستهلك 85 *mw* احسب: أ. فرق الجهد بين طرفيها؟ ب. التيار الذي يمر خلالها؟

الحـــل:

من العلاقة بين القدرة وفرق الجهد والمقاومة

$$P = V^2/R$$

يتم حساب $V = 7.6\ V$

ومن العلاقة بين القدرة والمقاومة وشدة التيار

$$P = I^2R$$

يتم حساب $I = 11.18\ mA$

(حقق النتائج)

مثال(15.5) ينساب خلال دائرة تيار 1.4A لمدة 15s دقيقة بحيث يستهلك خلال الدائرة طاقة $200kJ$ احسب: أ. فرق الجهد؟ ب. الطاقة المستهلكة؟ ج. مقاومة الدائرة؟

الحــل:

من العلاقـــــــة

$$E = V\,It$$

نجد أن

$$V = 1587V$$

ومن العلاقة

$$P = VI = 222.2W$$

ومن العلاقة

$$R = V/I = 113.4\Omega$$

(حقق النتائج)

مثال(16.5) ملفان وصلا على التوازي ثم سلط عليهما جهد قدره (200V). بحيث كان التيار الكلي خلالهما (15A) والقدرة المستهلكة في أحدهما (1500W) ما مقدار مقاومة كل منهما؟

الحــل:

حيث أن الملفين على التوازي إذاً الجهد على كل منهما 200V

$$P = VI_1$$

$$\therefore \quad I_1 = \frac{P}{V} = \frac{1500}{200} = 7.5A$$

وبذلك

$$R_1 = \frac{V}{I_1} = \frac{200}{7.5} = 26.7\Omega$$

وكذلك

$$I_2 = I - I_1 = 7.5A$$

$$R_2 = R_1 = 26.7\Omega$$

مثال(17.5) مصباحان A, B يمر خلالهما تيار قدره (0.8A) و(0.9A) على الترتيب عندما يتصلان بمصدر جهد (110V).إحسب قيمة التيار عندما يتصلان على التوالي بمصدر جهد (220V)؟ "بفرض ثبوت مقاومة كل منهما" وكذلك إحسب الجهد على كل مقاومة؟

الحــل:

مقاومة المصباح A:

$$R_A = \frac{110}{0.8} = 137.5\Omega$$

مقاومة المصباح B:

$$R_B = \frac{110}{0.9} = 122.2\Omega$$

وعند توصيلهما على التوالي تكون مقاومتهما معاً:

$$R_T = R_A + R_B = 259.7\Omega$$

∴ تيار الدائرة:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{220}{259.7} = 0.847A$$

الجهد على المصباح A:

$V_A = I\ R_A = 0.847 \times 137.5 = 116.5V$

الجهد على المصباح B:

$V_B = I\ R_B = 0.847 \times 122.2 = 103.5V$

مثال(18.5) مصباح (250V,100W) وصل على التوالي بمصباح (200V,100W) عبر جهد مصدر (250V).إحسب:

أ. تيار الدائرة؟ ب.الجهد على كل مصباح عند ثبوت مقاومة كل منهما؟

الحــل:

$$R_1 = \frac{V_1^2}{P} = \frac{(250)^2}{100} = 625\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_2^2}{P} = \frac{(200)^2}{100} = 400\Omega$$

$$R_T = R_1 + R_2 = 625 + 400 = 1025\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{250}{1025} = 0.244A$$

الجهد على المصباح الأول:

$V_1 = IR_1 = 0.244 \times 625 = 152.5V$

الجهد على المصباح الثاني:

$V_2 = IR_2 = 0.244 \times 400 = 97.6V$

مثال(19.5) عنصر معدني تم تصميمه بالمواصفات الكهربائية (200V,500W).

ما مقدار المقاومة التي يجب أن تضاف على التوالي بحيث يشغل من مصدر جهد (240V)؟

الحــل:

التيار الذي يسحبه العنصر من المصدر:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{500}{200} = 2.5A$$

عند توصيل المقاومة على التوالي مع العنصر المعدني فإن الجهد الذي يسلط على المقاومة هو:

$$V_R = 240 - 200 = 40V$$

ونتيجة للتوصيل على التوالي فإن تيار المقاومة 2.5A وتكون قيمتها:

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{40}{2.5} = 16\Omega$$

مثال(20.5) إحسب المقاومة R والقدرة المبددة خلالها بحيث تضاف الى مقاومة (75Ω) متصلة بمصدر جهد (120V) والقدرة المبددة خلال هذه المقاومة (90W)؟

الحــل: التيار المار في الدائرة:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{90}{75}} = 1.095A$$

$$I = \frac{V}{R + 75} = \frac{120}{R + 75}$$

$$1.095 = \frac{120}{R + 75}$$

$$\therefore \quad R = 34.6\Omega$$

12.5 مســــــائل

1. سلك نحاس مقاومته 25Ω عند الصفر المئوي كم تكون مقاومته عند $100C^0$؟ $\alpha_0 = 0.004/C^0$.

الجواب (35Ω)

2. ملف مقاومته10Ω عند $20C^0$ ما مقاومته عند $60C^0$ ؟ $\alpha_{20} = 0.0039/C^0$.

الجواب (11.56Ω)

3. مقاومة ملفات مجال محرك 173Ω عند $16C^0$ وبعد التشغيل أصبحت مقاومتها 212Ω احسب:

أ. درجة حرارة الملفات بعد التشغيل؟ **ب.** مقدار الارتفاع في درجة حرارة الملفات؟ $\alpha_0 = 0.00426/C^0$

الجواب $(72.5C^0, 56.5C^0)$

4. مقاومة خط نقل مصنوع من النحاس 100Ω عند الصفر المئوي احسب النسبة المئوية لتغير المقاومة بالنسبة لمقاومة الأسلاك في فصل الشتاء؟ علما بأن الأسلاك في بيئة تتراوح فيها درجة الحرارة بين الشتاء والصيف $(-30C^0, 35C^0)$ والمعامل الحراري عند الصفر المئوي $\alpha_o = 0.00427/C^0$

الجواب (32%)

5. فتيلة مصباح 60W,230V عندما تصل درجة حرارته $2000C^0$ ، ما مقدار التيار الذي ينساب خلال المصباح عندما كان باردا عند $15C^0$ ؟ علما بأن $\alpha_{15}= 0.005/C^0$
الجواب (2.85A)

6. سلك طوله (50*cm*) وقطره (0.05*cm*)عند 20 درجة مئوية والمقاومة النوعية لمادة السلك (2μΩ*cm*) ومعامله الحراري (0.004) لكل درجة عند 20 درجة مئوية ما مقدار مقاومة هذا السلك عندما ترتفع الحرارة إلى 25 درجة مئوية؟
الحواب (0.052Ω)

7. مصباحان أحدهما (25W,220V) والآخر (100W,220V) وُصِّلا على التوازي ثُم تَمّ توصيلهما بمصدر جهد 220V. أيَّ المصباحان أكثر إضاءة ؟
إخترالاجابة الصحيحة:(25W)، (100W) ،(كلاهما بنفس الإضاءة) ،(كل منهما لا يضيء)

8. لديك ثلاثة مصابيح كل واحد منها (25W,40W,60W) أيٌّ من هذه المصابيح أقل مقاومةً؟

إخترالاجابة الصحيحة: (60W), (40W), (25W)، (المعلومات ليست كافية)

9. لديك الأجهزة الكهربائية التالية:
أ. سخان (1*k*W,250V). ب. غلاَّية (1*k*W,250V) جـ. مصباح (1*k*W,250V) أيٌّ من هذه الأجهزة أكبرُ مقاومةً؟

إخترالاجابة الصحيحة:(السخان)، (الغلاية)، (كل هذه الأجهزة لها نفس المقاومة)، (المصباح)

10. كم من الطاقة الكهربائية بوحدة (*k*W*h*) يتم استهلاكها في عشرة مصابيح كل واحد منها 50W ولمدة 10*h* يوميًّا خلال شهر رمضان؟

إخترالاجابة الصحيحة: (15) (150) (1500) (500)

11. سخّانان متماثلان كل منهما (1000W,250V) تَمَّ توصيلهما على التوالي ثم وُصِّلا معًا بمصدر جهد(250V).فإن معدّل طاقتهما الحرارية معًا *their combined rate of heating* ؟

إخترالاجابة الصحيحة: ستكون (250W) (1000W) (2000W) (500W)

12. مصباحان كهربيان أحدهما (P_1 Watt ,V volt) والآخر (P_2 Watt ,V volt)، تَمَّ توصيلهما على التوالي معا بمصدر جُهد V فإن القدرة الكلية المستهلكة فيهما ستكون:

إخترالاجابة الصحيحة:

$(P_1 + P_2)$، $\sqrt{P_1 P_2}$ ، $\frac{P_1 P_2}{P_1+P_2}$، $\frac{P_1+P_2}{2}$

13. احسب الطاقة الكهربائية بوحدة kWh اللازمة لتشغيل غلاية 500W ومكيِّف (2400W) لمدة ثلاث ساعات؟

الجواب ($8.7kWh$)

14. مصدر جُهد (24V) تم تصميمه ليعطي تيار خرج 2A لمنظومة إضاءة تتكون من عدد من المصابيح كل منها 0.5W .كم عدد المصابيح التي يمكن توصيلها بالمصدر بحيث لا تزيد القدرة التي تأخذها المصابيح عن 80% من القدرة القصوى للمصدر ؟

الجواب (76)

15. إذا كان التيار خلال مقاومة ثابتة يزداد بمقدار50% من التيار السابق. احسب النسبة المئوية للزيادة في القدرة المستهلكة في المقاومة؟

الجواب (125%)

16. ما النسبة المئوية التي تزيد بها مقاومة موصل من النحاس طوله ($100m$) ومساحة مقطعه ($0.75m^2$) عندما ترتفع درجة حرارته من $20C^o$ الى $100C^o$؟

($\rho_{20} = 1.724\times10^{-8}\ \Omega.m$,$\alpha_o = 0.00393/C^o$)

الجواب (31.3%)

17. ملف من النحاس مقاومته 90Ω عند $20C^o$ وصل بمصدر جهد ($230V$).ما مقدار الزيادة اللازمة للجهد كي يبقى التيار ثابتاً إذا ارتفعت درجة حرارة الملف الى $60C^o$ ؟ ($\alpha_o = 0.00428/C^o$)

الجواب ($39.3V$)

18. إحسب مقاومة سلك طوله ($100m$) ومساحة مقطعه ($0.1mm^2$) إذا كانت المقاومة النوعية للمادة ($\rho = 50\times10^{-8}\Omega.m$) فإذا سحب السلك بحيث اصبح ثلاثة أمثال طوله الاصلي،فكم ضعف تصبح مقاومته من مقاومته الاصلية؟عند ثبوت حجم السلك.

الجواب (500Ω, 9*times*)

19. سلكان أحدهما من الالمونيوم والآخر من النحاس وصلا على التوازي، وكانت النسبة بين تياري السلكين (39:40) على الترتيب.ويزيد طول سلك الالمونيوم على طول سلك النحاس 65% ،والنسبة بين مقاومتيهما النوعيتين (98:13).إحسب النسبة بين مساحتي مقطعيهما؟

الجواب(12.22:1)

20. ملف من النحاس (Cu) مقاومته (25Ω) عند $15C^o$،وكذلك سلك من الكربون.عند أي درجة حرارة تتساوى مقاومة الملفين؟

($\alpha_{Cu} = 4.28\times10^{-3}/C^o$, $\alpha_C = 0.5\times10^{-3}/C^o$)

الجواب ($19.4C^o$)

21. سلط فرق جهد (200V) على ملف نحاس عند ($15C^o$) يسحب تياراً (10A). ما متوسط درجة حرارة الملف عندما يهبط التيار الى (5A)،عندما يكون فرق الجهد ثابتاً؟ ($\alpha_o = 0.004264/C^o$)

الجواب ($264.5C^o$)

22. سلك المونيوم ($5m$) وصل على التوازي مع سلك نحاس ($3m$).التيار الكلي للمجموعة (4A) يمر خلال سلك الألمونيوم (2.5A).إحسب نصف قطر سلك النحاس؟ ($\rho_{Al} = 2.6\mu\Omega\text{-}cm, \rho_{Cu} = 1.7\mu\Omega\text{-}cm$)

الجواب ($0.485mm$)

23. يمر تيار خلال موصل كهربائي مقداره (1A) عند $0C^o$ ،ثم أصبح (0.7A) عندما أرتفعت درجة حرارته إلى $100C^o$،ماذا سيصبح التيار عندما ترتفع درجة الحرارة إلى $1200C^o$،وما قيمة المعامل الحراري للمقاومة عند $0C^o$ ؟

الجواب ($0.16A, \alpha_o = 0.0043/C^o$)

24. فتيل مصباح درجة حرارته الطبيعية عند التشغيل $2000C^o$ ،إحسب التيار الذي يسحبه عند بداية التشغيل بفرض أن بداية التشغيل $20C^o$ ؟ ($\alpha_o = 0.0045/C^o$) مكتوب على المصباح (230V,60W).

الجواب (2.58A)

25. إذا كانت أقصى قيمة لمقاومة متغيرة 4.8Ω وأصغر قيمة لها 0.5Ω ،إحسب الجهد على المقاومة المتغيرة في كلتا الحالتين،علماً بأن التيار 1.2A ؟

الجواب(5.76V,0.6V)

26. كشاف كهربائي يسحب 100A عند 80V ، إحسب المقاومة التي تتصل معه على التوالي عند جهد 220V ؟

الجواب (1.4Ω)

27. إذا كانت مقاومة دائرة متصلة بمصدر جهد $(12V)$ يهبط التيار خلالها بمقدار $(0.5A)$ عند إضافة مقاومة (4Ω) إلى الدائرة. ما القيمة الأصلية لمقاومة الدائرة؟

الجواب (20Ω)

28. ملفان عند توصيلهما على التوالي كانت مقاومتهما معاً 18Ω وعند توصيلهما على التوازي أصبحت 4Ω، ما مقدار مقاومة كل منهما؟

الجواب $(6\Omega,12\Omega)$

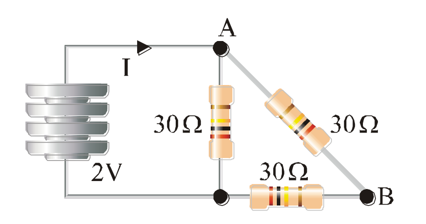
29. مصباح $(250V,100W)$ وصل على التوازي مع مقاومة مجهولة R ،ثم وصلا معاً بمصدر جهد $(250V)$.القدرة الكلية المستهلكة في الدائرة $(1100W)$.إحسب المقاومة المجهولة؟ بفرض ثبوت مقاومة المصباح.

الجواب (62.5Ω)

30. مقاومتان (R_1,R_2) وصلا على التوازي بمصدر جهد،فإذا كان التيار المسحوب من المصدر $(5A)$ مر منه في المقاومة R_1 تيار قدره $(2A)$ وقيمة المقاومة $(R_2 = 6\Omega)$. إحسب R_1 والقدرة المستهلكة في الدائرة؟

الجواب $(9\Omega,90W)$

31. إحسب التيار في الدائرة المبينة؟



الجواب $(0.1A)$

الفصل السادس

1.6 مقدمـــــــة.

2.6 المغناطيس و المادة المغناطيسية.

3.6 أنواع المغناطيس.

4.6 أقطاب المغناطيس.

5.6 المجال المغناطيس.

6.6 الفيض المغناطيس.

7.6 كثافة الفيض المغناطيس.

8.6 العلاقة بين كثافة الفيض وقوة المغنطة.

9.6 المواد المغناطيسية.

10.6 المجال المغناطيسي الناتج عن تيار في موصل.

11.6 أمثلـــــــة.

12.6 موصل يحمل تيارا في مجال مغناطيسي.

13.6 أمثلـــــــة.

14.6 مقدار القوة المتبادلة.

15.6 أمثلـــــة.

المغناطيسية *the magnetism*

1.6 مقدمــــــــة

قديما عرف الإنسان المغناطيسية باعتبارها قوة غير منظورة *invisible force* ولكــن مع تقدم المعرفة العلمية لدى الإنسان عرفت المغناطيسية.و تحتل المغناطيســية مكانــا مرموقا في الهندسة الكهربائية وهندسة الاتصالات فبدون المغناطيسية يستحيل تشــغيل أجهزة مثل المولدات الكهربائيــة *electric generators* و المحركــات الكهربائيــة *electric motors* و المحــولات الكهربائيــة *Transformers* وأجهــزة القيــاس الكهربائية الدقيقة *electrical instrument* وغيرها. وبدون المغناطيســية لا يمكــن الاستفاذة من وسائل الخدمات والمعرفة والترفيه مثل الراديو والتلفزيــون والتلغــراف ومنظومة الإشعال لسياراتنا وطائراتنا وغيرها من وسائل الركوب الآلية. وبدون منازع فإن للمغناطيسية الأثر الفعال في الهندسة الكهربائية حيت بدونها يستحيل الحصول على أجهزتنا الحديثة إلا القليل جدا منها.

في هذا المقرر يتعرف الدارس على الخواص المغناطيسية لفهم وظيفة المغناطيسية في المعدات الكهرومغناطيسية.

2.6 المغناطيس و المادة المغناطيسية *magnet and magnetic material*

المادة التي تجذب إليها قطع الحديد *iron* و الفولاذ *steel* تسمى *magnet* و هذه الخاصية التي تملكها المادة تسمى *magnetism*.

وُجِدت المغناطيسات *magnets* في الحالة الطبيعية *natural state* على شكل معدني *mineral* يسمى *magnetite* ولكن لهذا المغناطيس الطبيعي قوة جذب ليست بالدرجة

التي يمكن استخدامها في الأجهزة الحديثة ؛ و لهذا تم صنع المغناطيس *magnet* من الحديد و الفولاذ و السبائك المغناطيسية.

وتعرف المواد المغناطيسية بأنها المواد التي تنجذب نحو المغناطيس مثل الحديد و الفولاذ والنيكل والكوبالت و بعض السبائك. أما المواد التي لا تنجذب نحو المغناطيس تسمى المواد غير المغناطيسية *non magnetic*. مثل النحاس والمطاط و الخشب.

3.6 أنواع المغناطيس *Type of magnets*

الطريقة المعتادة للحصول على مغناطيس اصطناعي *artificial magnet* هو تمرير تيار كهربائي خلال سلك ملفوف على قضيب *bar* حديد أو فولاذ ويقسم المغناطيس الاصطناعي حسب احتفاظه بالمغنطيسية إلى:

أ. المغناطيس الدائم *permanent magnets* بعض مواد الفولاذ الصلب *hardened* والسبائك المغناطيسية *cobalt steel*؛ *tungsten steel* تحتفظ بالمغناطيسية بعد زوال المعدات الكهربائية المسبب للمغنطة و بذلك تسمى المغناطيسات المصنوعة من هذه المواد بالمغناطيس الدائم *permanent magnet* و تمتاز هذه المغناطيسات بعدم الفقد ولكن يتعذر التحكم في مغنطة المغناطيس.

ويستخدم المغناطيس الدائم في أجهزة القياس الكهربائية الدقيقة *electrical instrument* و السماعات *earphone* و مكبر الصوت المتحرك *moving coil load speaker* وغيرها.

ب. المغناطيس المُؤقت *temporary magnets* بعض المواد مثل الحديد المطاوع *soft iron* والنيكل تحتفظ بالمغناطيسية طالما تحت تأثير القوة المسببة للمغنطة ولكن

لمجرد زوال هذه القوة تفقد كل المغناطيسية تقريبا وتسمى المغناطيسات المصنوعة من هذه المواد بالمغناطيس المؤقت ومن ميزة هذا المغناطيس هو التحكم في كمية المغناطيسية خلاله ويستخدم المغناطيس المؤقت في المولدات *generators* والمحركات *motors* والأجراس *electrical bells* والمرحلات *relays* والمكبرات المتحركة *dynamic load speaker* وغيرها.

4.6 أقطاب المغناطيس *pole of magnet*

لأي مغناطيس قطبان شمالي *north pole* وجنوبي *south pole* متشابهة الاقطاب تتنافر **و**مختلفة الاقطاب تتجاذب.

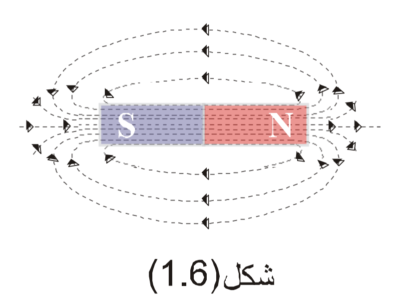
N-N ⟶ *repulsion*
S-N ⟶ *attraction*
S-S ⟶ *repulsion*

5.6 المجال المغناطيس *magnetic field*

المنطقة التي قرب المغناطيس حيث القوى تؤثر على الأقطاب المغناطيسية تسمى المجال المغناطيسي. يكون المجال قويا قرب القطب ثم يتناقص في القوة كلما أبتعد عن المغناطيس.

الفراغ "المجال" الذي يتعرض فيه المغناطيس بقوة يسمى المجال المغناطيس

و يمثل المجال المغناطيس حول المغناطيس بخطوط وهمية *imaginary line* تسمى خطوط القوة المغناطيسية *magnetic line of force* الشكل (1.6)



شكل(1.6)

(لاحظ اتجاه خطوط القوة من **N** إلى **S** ثم من **S** إلى **N** داخل المغناطيس)

و بذلك يتكون *close path* أو مسار مغلق.

6.6 الفيض المغناطيس *magnetic flux*

لا يكتشف المجال المغناطيسي بالحواس و لكن من ملاحظة تأثيراته بطرق متعددة: و للتعرف على المجال المغناطيسي كميا (بالأرقام) فإنه يستخدم مفهوم الفيض المغناطيسي،والتي تعرف بانها " **كمية المجال المغناطيسي التي يتم إنتاجها بمصدر مغناطيسي**"

يرمز للفيض المغناطيسي بالرمز ϕ (ينطق فاي وهو حرف إغريفي)

فإذا خرجت 10 خطوط مغناطيسية من القطب الشمالي و دخلت القطب الجنوبي للمغناطيس (10 line) أو *Maxwell* . و يستخدم في النظام **S .I** وحدة (**Wber**)

$1wb = 10^8$ *line or Maxwell*

7.6 كثافة الفيض المغناطيس *Magnetic flux density*

تُعرّف كثافة الفيض بانها عدد خطوط القوى المارة عموديا بوحدة المساحة وطبقا لهذا التعريف فإن عنصر الفيض العمودي $d\phi$ خلال سطح مساحته $d\,A$ هو:

$$Flux\ density\ d\emptyset = B\cos\theta . dA \quad \dots\dots (1.6)$$

وبصورة عامة فإن الفيض الكلي:

$$\emptyset = \int B\cos\theta . dA \quad \dots\dots (2.6)$$

كثافة الفيض **B** = وحدتها ($wb\backslash m^2$)

حيث ϕ = الفيض وحدة قياسه (wb)

A= المساحة العمودية على الفيض ووحدة قياسيها m^2

وحدة قياس كثافة الفيض في نظام القياس (**S I**)

($wb\backslash m^2$**)** أو $Tesla$ و تقيس كثافة الفيض تركيز المجال يعنى الفيض لكل متر مربع من المجال. وأهميته العملية أكثر من كمية الفيض الكلي.

1. عندما يكون مستوى الملف عموديا على اتجاه الفيض يمر أكبر فيض خلال الملف

$$maximum\ flux\ \phi_{max} = BA \quad \dots \dots \ (3.6)$$

2. عندما يكون مستوى الملف موازيا لاتجاه الفيض لا يمر أي فيض خلال الملف

1.7.6 اتجاه المجال المغناطيسي

يخضع اتجاه المجال المغناطيسي لقاعدة اليد اليمني حيث إذا اتجه الإبهام نحو التيار فإن اتجاه الأصابع المقبوضة يشير إلى اتجاه المجال.

2.7.6 النفاذية النسبية و النفاذية المطلقة

Absolute and relative permeability

نفاذية المادة موصلتيها للفيض المغناطيسي،والمادة الأكثر نفاذية هي الأكثر توصيلا للفيض المغناطيسي والعكس صحيح فالهواء والفراغ ضعيفان في توصيلهما للفيض المغناطيسية،حيث معامل نفاذيتهما $\mu_0 = 4\pi x 10^{-7}$ H/m

فالقيمة المطلقة أو الحقيقة للنفاذية المغناطيسية μ أكبر جدا من μ_0 أما النسبة بينهما μ/μ_0 تسمى النفاذية النسبية *relative permeability*

النفاذية المطلقة = μ (تنطق ميو وهو حرف إغريقي)

نفاذية الهواء أو الفراغ = μ_0

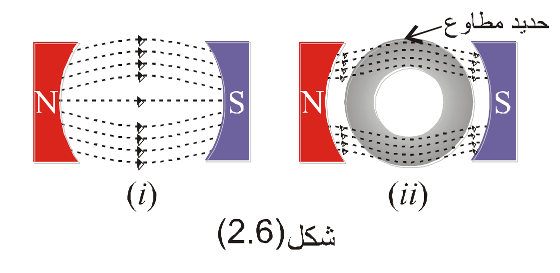
النفاذية النسبية = μ_r

النفاذية النسبية للمواد غير المغناطيسية $\mu_r = 1$ بينما للمواد المغناطيسية عالية جدا مثلا

(soft iron) $\mu_r = 8000$

3.7.6 مفهوم النفاذية النسبية *concept of relative permeably*

تعتبر النفاذية النسبية قياسا . لمدى سهولة توصيل الفيض المغناطيسي خلال المادة مقارنة بتوصيله خلال الهواء الشكل (2.6):



شكل(2.6)

كثافة الفيض في الحديد المطاوع *soft iron* أكثر من كثافته في الهواء *air* أي أن كثافة الفيض للحديد المطاوع تساوى 8000 من كثافته في الهواء.

8.6 العلاقة بين كثافة الفيض وقوة المغنطة *Relation between B and H*

كثافة الفيض B الناتجة في المادة تتناسب طرديا مع قوة المغنطة المسلطة على المادة H *magnetizing force applied* (تسمى قوة المغنطة بشدة المجال المغناطيسي):

$$B \propto H$$

أو

$$B/H = Constant = \mu = \mu_0\mu_r \quad \dots \dots (4.6)$$

هذه في حالة المادة

أما في حالة الهواء فإن

$$B = \mu_0 H \quad \dots \dots (5.6)$$

ومن هاتين العلاقتين، نجد أن النفاذية النسبية هي النسبة بين كثافة الفيض في المادة إلى كثافة الفيض في الفراغ أو الهواء:

$$\mu_r = \frac{B}{B_o} \quad \dots \dots (6.6)$$

الجدول (1.6) يبين وحدات كل من H و B و φ في النظام العالمي للقياس S.I

جدول(1.6)

الكميـــــــة	وحدة القياس
φ	وبر W b
B	تسلا (وبر/متر^2)
H	(أمبير/ متر)
العلاقة بين B و H	للفراغ $B = \mu_0 H$
	للمادة $B = \mu_0 \mu_r H$

9.6 المواد المغناطيسية *magnetic material*

يمكن أن تقسم المواد المغناطيسية إلى:

** Paramagnetic ** diamagnetic * ferromagnetic

تختلف هذه الأنواع في سلوكها عندما يسلط عليها مجال مغناطيسي خارجي

1. عندما توضع المادة *diamagnetic* (مثل النحاس والخارصين و البزموت) في مجال مغناطيس فإنها تتمغنط *magnetized* بضعف *feebly* عكس المجال المسلط

عليها. وبذلك فأن المادة *diamagnetic* تتنافر *repelled* مع المغناطيس بقوة.

2. عندما توضع المادة *paramagnetic* (مثل الالومنيوم و الأنتمون) في مجال مغناطيس فإن المادة *paramagnetic* تتمغط أيضا بضعف و لكن مع اتجاه المسلط عليها. و بذلك فإن المادة *paramagnetic* تتجذب نحو المغناطيس القوى.

3. عندما توضع المادة *Ferromagnetic* (مثل الحديد والنيكل والكوبالت) في مجال مغناطيسي فإن المادة *ferromagnetic* تتمغط بقوة مع المجال المسلط عليها. وبذلك فإن المادة *ferromagnetic* تتجذب بقوة نحو المغناطيس ويلاحظ أن كل من *paramagnetic* و *diamagnetic* هما نوع من أشكال المغنطة الضعيفة بينما المواد *ferromagnetic* لها تأثيرات مغناطيسية قوية.

و تصف هذه المواد حسب النفاذية النسبية μ_r كـــــالأتي:

مواد غير مغناطيسية $\mu_r = 1$ *Non magnetic Material*

$\mu_r < 1$ *diamagnetic*

$\mu_r > 1$ *paramagnetic*

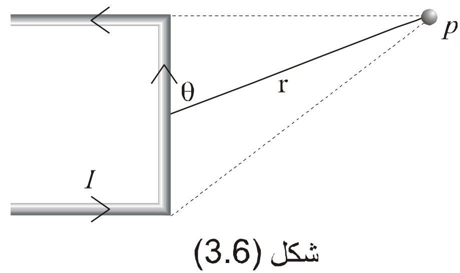
$\mu_r >> 1$ *ferromagnetic*

10.6 المجال المغناطيسي الناتج عن تيار في موصل (*Biot Savant 1 aw*)

وجد بالتجربة أنه (إذا مر تيار ثابت I في سلك فإن هذا التيار ينشيء مجالاً مغناطيسياً فى المنطقة المحيطة به)، وأن متجه الفيض المغناطيسي عند أي نقطة نتيجة عنصر طول Δl من السلك يتميز بالخواص التالية :

- يتعامد dB على كل Δl والمتجه r وهو الواصل بين عنصر الطول ونقطة المجال ويتعرف على اتجاهه بقاعدة اليد اليمني.

- يتناسب dB عكسيا مع مربع r.
- يتناسب طرديا dB مع Δl و التيار I.
- يتناسب dB طرديا مع $sin\theta$ يعني مع جيب الزاوية المحصورة بين المتجهين r و Δl شكل(3.6):



شكل (3.6)

$$dB\alpha \ \frac{I(dl)\sin\theta}{r^2} = k\frac{Idl\sin\theta}{r^2}$$

k ثابت التناسب. وهذا الثابت يتعلق بخاصية المادة μ بالعلاقة:

$$k = \frac{\mu}{4\pi}$$

حيث μ تعرف بنفاذية المادة *permeability* وحدتها (*wb/Am*) في (S. I) وتسمى ايضاً الهنري *Henry*. ومن هنا فإن وحدة μ هي (*Henry /meter*) و بذلك فإن:

$$dB = \frac{\mu}{4\pi}\left[\frac{\sin\theta dl}{r^2}\right] \ \ldots\ldots(7.6)$$

واتجاه dB عموديا على الصفحة (إلى الداخل) و يحسب المجال B الكلي عن طريق التكامل:

$$B = \frac{\mu}{4\pi}\int\left[\frac{\sin\theta dl}{r^2}\right] \ \ldots\ldots(8.6)$$

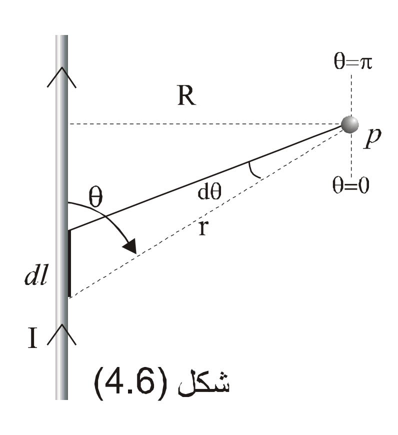
حيث: I التيار الداخل إلى الموصل، μ نفاذية الوسط، **B** كثافة الفيض (المجال) عند نقطة، r المسافة بين $d\ell$ و نقطة المجال. θ زاوية الميل. تقاس مع عقارب الساعة

clockwise من الاتجاه الموجب للتيار على طول $d\ell$ بالنسبة لنصف القطر (r) في حالة الهواء توضع μ_0 بدلا من μ. وسنبين بعض العلاقات لحساب شدة المجال المغناطيسي للتطبيقات المشهورة وهي المجال المغناطيسي لموصل لانهائي والمجال المغناطيسي لموصل على شكل ملف دائري وكذلك المجال المغناطيسي حلزوني وقد تم استخدام التكامل السابق في حساب المجال بآلية خارج نطاق هذا المقرر الدراسي:

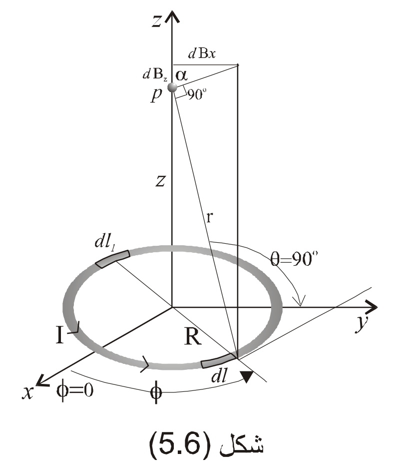
- موصل لانهائي *Infinite conductor*

شكل(4.6) تحسب شدة المجال باستخدام العلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi R} \quad \dots\dots (9.6)$$



شكل (4.6)



شكل (5.6)

- حلقي دائري *circular loop* تحسب شدة المجال بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu I R^2}{2(R^2 + Z^2)^{3/2}} \quad \dots\dots (10.6)$$

وفي الحالات الخاصة عند النقاط التي تكون بعيدة جدا عن الحلقة Z >> R تحسب شدة المجال

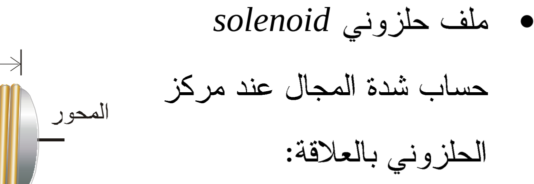
بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu I R^2}{2Z^3} \quad \dots\dots (11.6)$$

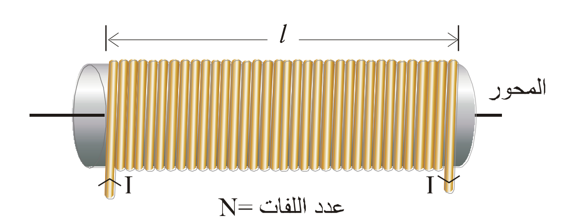
وتحسب شدة المجال عند مركز الحلقة Z = 0 بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu I}{2R} \quad \dots\dots (12.6)$$

- ملف حلزوني *solenoid*



حساب شدة المجال عند مركز الحلزوني بالعلاقة:



شكل (6.6)

$$B = \frac{\mu N I}{(4R^2 + l^2)^{1/2}} \quad \dots\dots (13.6)$$

وفي حالة ما إذا كان الطول أكبر جدا من نصف القطر $(\ell >> R)$ يتم حساب شدة المجال بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu N I}{l} \quad \dots\dots (14.6)$$

11.6 أمثلـــــــــة

مثال(1.6) احسب كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة تبعد $5cm$ عن سلك يحمل تياراً قدره 1.5A في الهواء؟

الحــل:

بالتعويض المباشر في العلاقة:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi R}$$

نحصل على B = 6μT

مثال(2.6) ملف دائري عدد لفاته 40 لفة وقطره $16cm$ يمر فيه تيار شدته 3A احسب كثافة الفيض عند مركز الملف؟

الحــل:

بالتعويض المباشر في العــــــلاقة:

$$B = \frac{\mu NI}{2R} = 0.942T$$

مثال(3.6) مر تيار شدته 0.1A خلال ملف دائري قطره $12cm$ وعدد لفاته 50 لفة. احسب شدة المجال المغناطيسي عند مركز الملف وعلى محور الملف على بعد $8cm$ من مركز الملف؟

الحــل:

عند مركز الملــــــــف بعد التعويض في العلاقة:

$$H = \frac{NI}{2R} = 41.66\ A/m$$

وعلى محـــــور الملف بالتعويض عن $Z = 0.08m$ نحصل على النتيجة:

$$H = \frac{IR^2}{2(R^2 + Z^2)^{3/2}} = 9\ A/m$$

مثال(4.6) ملف حلزوني طوله $20cm$ ونصف قطره $2cm$ وعدد لفاته 200 لفة يمر به تيارا شدته $5A$. احسب كثافة الفيض عند مركز الملف؟

الحـــل:

بالتعويض المباشر في العلاقة:

$$B = \frac{\mu_o NI}{l} = 2\pi \times 10^{-3}\ T$$

مثال(5.6) ملف حلزوني طوله $85cm$ ومتوسط قطره $3cm$ ملفوف خمس طبقات بحيث كان عدد لفات كل طبقة 850 لفة ويمربه تيارا شدته $6A$ احسب:

1. شدة المجال المغناطيسي في منتصف محور الملف؟
2. كثافة الفيض المغناطيسي في منتصف محور الملف؟
3. الفيض الكلي المار خلال مقطع الملف؟

الحـــل:

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{5 \times 850}{0.85} \times 6 = 3 \times 10^4\ A/m$$

$$B = \mu H = 4\pi \times 10^4 = 37.7 \times 10^{-3}\ W/m^2$$

وحيث أن المجال منتظم في محور الملف الحلزوني وعمودي على مقطع الملف فإن الفيض الكلـــــــــــي:

$$\phi = BA = 37.7\times10^{-3}\times3.14\times(0.015)^2 = 2.68\times10^{-5}\ W$$

مثال(6.6) كثافة الفيض داخل ملف هوائي *air cored coil* ($200\ line/cm^2$) وعندما وضع بداخله (*cast iron*) زاد الفيض إلى ($18000\ line/cm^2$) ما مقدار النفاذية النسبية لمادة *cast iron* ؟

الحــل:

$$\mu_r = \frac{B_{castiron}}{B_{air}} = \frac{18000}{200} = 90$$

مثال(7.6) قضيب حديد (*Iron bar*) مساحة مقطعه ($1cm^2$) وفيضه المغناطيسي ($10^{-4}wb$) احسب كثافة الفيض داخل القضيب،إذا كانت النفاذية النسبية للحديد ($\mu_r = 2000$). ما مقدار شدة المجال المغناطييسى؟

الحــل:

الشدة المغناطيسية

$$B = \frac{\emptyset}{A} = \frac{10^{-4}}{1 \times 10^{-4}} = 1\ web/cm^2$$

كثافة الفيض:

$$H = \frac{B}{\mu_o \mu_r} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}(2000)}$$

$= 398\ N/wb = \ \ A\ T/cm$

من هنا احسب **I**

مثال(8.6) ملف حلزوني عدد لفاته ($300t$) و طوله ($20cm$) يحمل تياراً ($1.5A$)

1. ما مقدار شدة المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني؟

2. ما مقدار نفاذية القالب ($core$) الذي بداخله عند هذه القيمة من H إذا كان المجال المغناطيسي بداخله B يساوي ($0.6T$) وبكم مرة أكبر من **μ_0؟**

الحــل:

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{NI}{l} = 2250\ A/m$$

تأكد من ذلك بعد التعويض ثم ناقش وحدة القياس هذه mT/A

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} = 212$$

ما موقع هذه المادة حسب تصنيف المواد المغناطيسية ؟

مثال(9.6) ما مقدار المجال المغناطيسي داخل ملف حلزوني إذا كان عدد لفاته لوحدة الطول ($20\ T/cm$) و يمر فيه تيار مقداره ($5A$)؟

الحــل:

$$B = \frac{\mu_o I N}{l}$$

$$\frac{N}{l} = \frac{20}{10^{-2} m}$$

$$= 4\pi \times 10^{-7}(5)(2000)$$

$$= 4\pi \times 10^{-4}\, T$$

مثال(10.6) شدة المجال المغناطيسي ($H = 600\ A/cm$) داخل ملف حلزوني هوائي طوله ($25cm$) وعدد لفاته ($300\ t$):

1. ما مقدار التيار المارفي الملف الحلزوني **I** ؟

2. ما مقدار المجال داخله **B**؟

الحــل:

$\mu = \mu_0$ لأنه هوائي

$$H = \frac{NI}{l}$$

يمكن من هنا حساب

$$B = \mu H = \mu_o H$$

تأكد من أن:

$$\mathbf{I} = 0.5\ A$$

$$\mathbf{B} = 7.54\times10^{-4}\ T$$

مثال(11.6) عينة (*sample*) مركبة من (*carbon steel*) نفاذيتها $\mu = 0.01 mT/A$:

1. احسب **B** عندما تكون شدة المجال المغناطيسي ($\mathbf{H} = 75 A/cm$)

2. احسب **B** عند قيمة **H** المذكورة في أ في حالة الهواء μ_0

أ . $B = \mu H$

$\mu = 0.01 mT/A$

ب. $B = \mu_o H$

$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}\ mT/A$

تحقق من أن:

أ. (0.75T).

ب. (9.4×10^{-5}T).

مثال(12.6) يدور الإلكترون في ذرة (*Hydrogen*) حول النواة (*nucleus*) في المدار (*path*) نصف قطره ($R=5.1\times10^{-11}cm$) ويتردد $f = 6.8\times10^{15}\ rev/s$

احسب **B** :

1. عند مركز الحلقة ؟

2. عند نقطة تبعد ($Z = 10^{-8}cm$) من الحلقة وعلى محورها؟

الحـــل:

I = (*charge on electron*) × (*frequency*)

التيار = (شحنة الإلكترون) × (التردد)

$$I = (1.6\times10^{-19})\,(6.8\times10^{15})$$

$$=10.88\times10^{-4}A$$

$R = 5.1\times10^{-11}m \qquad \mu = \mu_0$

باستخدام قانون الحلقة

$$B = \frac{\mu I}{2R} = 13.4\ web/m^2$$

تأكد من النتيجة

2. تهمل فيها R مقارنة بقيمة Z في المقام و يستخدم القانون:

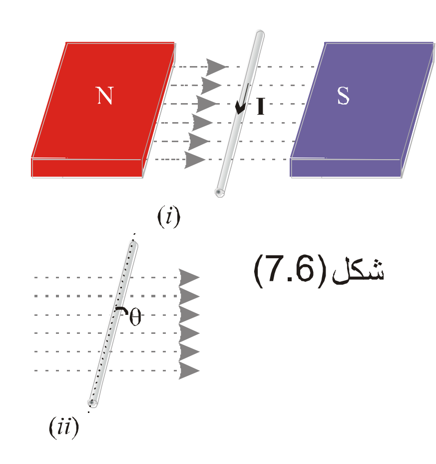
$$B = \frac{\mu I R^2}{2Z^3}$$

قم بالتعويض للحصول على النتيجة

$$B = 1.778\times10^{-6}\ wb/cm^2$$

12.6 موصل يحمل تيارا في مجال مغناطيسي

Current –Carrying Conductor in Magnetic Field



شكل (7.6)

عندما نضع موصلا يحمل تيارا في مجال مغناطيسي وعموديا عليه ، فإن الموصل يتعرض لقوة تكون عمودية على كل من المجال و التيار. الشكل (7.6)، بالأخذ في الاعتبار موصل مستقيم *straight conductor* يوضع عموديا على مجال مغناطيسي متغيراً في كثافة الفيض **B** ويحمل الموصل تياراً **I** وله طول فعال ℓ (يعني كل الموصل مغمور *inserted* في المجال وعموديا عليه) فإن القوة المؤثرة على هذا الموصل:

$$F = BI\ell \quad \dots\dots (15.6)$$

وتعتبر هي القيمة القصوى للقوة.

أما إذا كان الموصل والمجال يصنعان زاوية بينهما فإن مركبة القوة

$$F = BI\ell \sin\theta \quad \dots \dots (16.6)$$

في حالة الموصل والمجال متوازيان $\theta = 0$

13.6 أمثلـــــة

مثال(13.6) أسلاك محرك *Motor* يمر خلالها تياراً قدره (5A) عموديا على مجال مغناطيسي (0.8T) ما مقدار القوة لوحدة السنتيمترات على هذه الأسلاك؟

الحــل

$$F/\ell = BI = 0.8\times5\times0.01 = 0.04N$$

مثال(14.6) سلك مستقيم (0.5*m*) يمر خلاله تياراً (100A) ويقع عموديا على مجال مغناطيسي (1.5T) احسب القوة في هذه الحالة ثم احسب القوة إذا مال المستقيم عن المجال بمقدار 30^0 ؟

الحــل:

$$F = BI\ell = 1.5\times100\times0.5 = 75N$$
$$F = BI\ell \sin\theta = 75\times0.5 = 37.5N$$

14.6 مقدار القوة المتبادلة *Magnitude of Mutual Force*

عندما يوضع موصلان متوازيين يحمل كل منهما تياراً، فإن كل منهما يؤثر على الآخر بقوة ميكانيكية ناتجة عن المجال المغناطيسي الذي أحدثه التيار الكهربائي في كل

منهما. فإذا كان التياران في اتجاه واحد فإن القوتين تجاذبيتان *attractive* أما إذا كان التياران في اتجاهين مختلفين فإن القوتين تنافيريتان *repulsive* . فإذا نتج عن الموصل الأول الذي يحمل تياراً قدره I_1 و طوله ℓ_1 مجال B فإن:

$$B = \frac{\mu I_1}{2\pi d} \quad \dots\dots (17.6)$$

إذا كانت المسافة بينهما d (راجع قانون Biot – savant لموصل مستقيم لانهائي) حيث كان الرمز R وهو هنا يساوى d و بذلك يقع الموصل الثاني في مجال مغناطيسي B الذي أنتجه الأول و هو يحمل تياراً قدره I_2 طوله ℓ_2 فإن:

$$F_2 = BI_2 l_2 \quad \dots\dots (18.6)$$

$$F_2 = \left(\frac{\mu I_2}{2\pi d}\right) I_2 l_2 \quad \dots\dots (19.6)$$

وكذلك تؤثر على الموصل الأول قوة متساوية لهذه القوة في عكس اتجاهها من جراء مجال الموصل الثاني:

$$F_1 = \left(\frac{\mu I_1}{2\pi d}\right) I_1 l_1 \quad \dots\dots (20.6)$$

وباعتبار $\ell_1 = \ell_2$ ونتيجة للتماثل في التيارين I_2, I_1 فإن القوة على الموصل الثاني هي أيضاً القوة على الموصل الأول،وبذلك فإن القوة المتبادلة:

$$F = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2\pi d} \quad \dots\dots (21.6)$$

15.6 امثلـــــة

مثال(15.6) موصلان متوازيان يحمل كل منهما (1000A) في نفس الاتجاه بينهما مسافة قدرها 15*cm* احسب القوة لوحدة الأطوال التي يوثر كل منهما على الأخر؟

الحــل:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$\frac{F}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7}(1000)^2}{2\pi(0.15)} = 1.33\ N$$

ما نوع القوة ؟

مثال(16.6) قضيبان حديديان المسافة بينهما (80*mm*) توضع مواد عازلة لتثبيتهما لكل متر على طول كل منها *supported a long their length* و يحمل كل منهما تياراً قدره 20*k*A .ما القوة التي تؤثر على كل عازل *insulator* ؟

الحــل:

القوة لكل متر (F/ℓ) للقطب *bar*:

$$F = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$F = \frac{4\pi \times 10^{-7} I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$F = \frac{2 \times 10^{-7} I_1 I_2}{d} = 1000\ N$$

بعد التعويض عن قيمتي التيار.

وبما أن القطبين مثبتان بمواد عازلة عند كل متر على امتداد طوليهما فإن القوة المؤثرة هي $1000N$ على كل مادة عازلة و يجب أن تكون القوة تنافرية ***Repulsion***.

مثال(17.6) إذا كانت القوة بين موصلين متوازيين يحملان تيارين كل منهما عكس الآخر $3.2N/m$ عندما تكون المسافة بينهما ($5mm$) في الهواء. فإذا كان التيار في أحد الموصلين ($1000A$) احسب التيار في الموصل الأخر و ما نوع هذه القوة؟

الحـــل:

القوة بين الموصلين لكل متر:

$$F = \frac{4\pi \times 10^{-7} I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$F = \frac{2 \times 10^{-7} I_1 I_2}{d} = 3.2\ N$$

$$I_1 = 1000A$$

$$d = 50\times10^{-3} m$$

$$I_2 = ?$$

$$I_2 = \frac{Fd}{2 I_1 \times 10^{-7}}$$

$$I_2 = \frac{(3.2)(50 \times 10^{-3})}{2(10^3)(10^{-7})} = 800\ A$$

حيث أن الموصلين يحملان تيارين في اتجاهين مختلفين فإن القوة تنافرية *Repulsion*.

مثال(18.6) سلكان طويلان أفقيان متوازيان المسافة بينهما 0.2*cm* في مستوى عمودي يحمل كل من السلكين تيارين في نفس الاتجاه فإذا كانت كتلة السلك الأسفل (0.05*kg/m*) فإذا ظهر السلك الأسفل كأنه عديم الوزن *weight less* ما مقدار التيار في كلا السلكين؟

الحـــل:

تؤثر على السلك الأسفل قوتان:

1. قوة جذب لأعلى ناتجة عن المجال الذي كونه السلك العلوي:

$$F = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d}$$

2. قوة جذب لأسفل ناتجة عن الجاذبية الأرضية و عندما تتساوى هاتان القوتان يبدو السلك الأسفل عديم الوزن { *F = mg* } لوحدة الطول:

$$mg = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$mg = \frac{2 \times 10^{-7} I_1 I_2}{d}$$

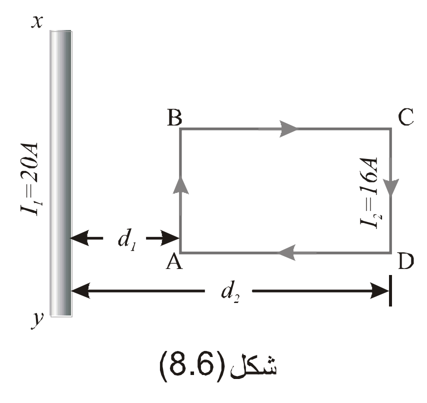
ولكن التيارين متساويان $I_1 = I_2$

$$mg = \frac{2 \times 10^{-7} I^2}{d}$$

$$I = \sqrt{\frac{mgd}{2 \times 10^{-7}}} = 70\ A$$

بعد التعويض عن قيمة كل من mgd في المعادلة السابقة نحصل على قيمة التيار I

مثال(19.6) حلقة *Loop* على شكل مستطيل شكل (8.6) A B C D تحمل تيـاراً قدره (16A) في اتجاه عقارب الساعة وضعت موازية لموصل مستقيم يبعد (4cm) ويحمـل تياراً (20A) أبعاد هذه الحلقة (15cm طـول و6cm عرض) ما محصلة القوة المؤثرة على الحلقة ؟ وما الفرق في القوة لو عكـس اتجـاه التيار المار في الحلقة.



شكل(8.6)

الحــل:

أولاً: الموصل $x\,y$ يؤثر على الضلع A B بقوة تجاذب بينما يؤثر بقوة تنافر على الضلع C D أما القوة المؤثرة على كل من B C و A D متساويتان ومتضادتان يلغى كل منهما الآخر

$$d_1 = 0.04\ m$$

$$d_2 = 0.04 + 0.06 = 0.1\ m$$

ومنها أن القوة على الضلع A B:

$$F_{1\,attractive} = \frac{2 I_1 I_2 \times 10^{-7}}{d_1} \times AB$$

$$F_1 = \frac{2 \times 20 \times 16 \times 10^{-7} \times 0.15}{0.04} = 2.4 \times 10^{-4}\ N$$

القوة على الضلع C D

$$F_{2\ repulsion} = \frac{2 I_1 I_2 \times 10^{-7}}{d_2} \times CD$$

$$F_2 = \frac{2 \times 20 \times 16 \times 10^{-7} \times 0.15}{0.1} = 0.96 \times 10^{-4}\ N$$

محصلة القوة على الحلقة:

$$F = F_1 - F_2 = (2.4 - 0.96) \times 10^{-4} = 1.44 \times 10^{-4}\ N$$

وبذلك يكون اتجاه القوة مع اتجاه التيار في الموصل $x\,y$ أما إذا عكس اتجاه التيار في الحلقة فإن اتجاه محصلة القوة اتجاه $x\,y$.

الفصل السابع

1.7 الدائرة المغناطيسية.

2.7 تحليل الدائرة المغناطيسية.

3.7 المقاومة بين الدائرتين المغناطيسية والكهربائية.

4.7 الدائرة المغناطيسية في حالة توالي.

5.7 الدائرة المغناطيسية في حالة توازى.

6.7 تسرب الفيض.

7.7 أمثلـــــة.

8.7 مســــــائل.

9.7 منحنـــــى العلاقة بين كثافة الفيض وشدة المجال.

10.7 التخلفية (التبطاؤ) المغناطيسية.

11.7 حلقة التخلفية.

12.7 مســــــائل.

13.7 الحث الكهرومغناطيسي.

14.7 إنتاج القوة الدافعة الكهربائية المستحثة.

15.7 موصلية (ربط) الفيض.

16.7 القوة الدافعة الناتجة عن الحث الذاتي.

17.7 معامل الحث الذاتي.

18.7 مقدار القوة الدافعة المستحثة.

19.7 القوة الدافعة الكهربائية المستحثة بالتبادل.

20.7 مقدار *e.m.f* المستحثة بالتبادل.

21.7 معامل الربط.

22.7 الطاقة المخزنة في المجال المغناطيسي.

23.7 أمثلـــــة.

24.7 المحولات.

25.7 امثلـــــــة.

26.7 مســائل.

27.7 الاختبار الذاتي.

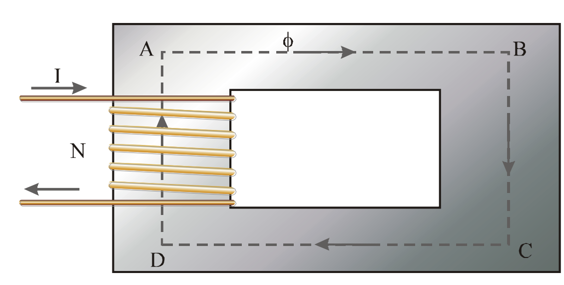
1.7 الدائرة المغناطيسية *magnetic circuit*

أي مسار مغلق (*closed path*) متبوع بفيض مغناطيسي يسمى (*magnetic circuit*) دائرة مغناطيسية.

في الدائرة المغناطيسية يغادر الفيض المغناطيسي القطب الشمالي *N- pole* خلال الدائرة ثم يعود إلى نقطة البداية. وتتكون الدائرة المغناطيسية من مادة ذات نفاذية عالية مثل الحديد *soft steel* وغيرها.

وذلك لأن هذه المواد مقاومتها لانسياب الفيض صغيرة . و عادة ما يتم إنتاج الفيض المغناطيسي في الدائرة المغناطيسية عن طريق تمرير التيار الكهربائي خلال سلك *wire* يتكون من عدد من اللفات تلف على مادة مغناطيسية ؛ و بهذه الطريقة يمكن التحكم في كل من مقدار و كثافة و اتجاه الفيض المغناطيسي.

نأخذ ملف عدد لفاته *N* ملفوفة على قالب *core* حديد الشكل (1.7) ؛ يتكون في قالب الحديد فيض مغناطيسي عندما يمر التيار I خلال الملف. و يتبع الفيض المسار ABCDA و هو ما يسمى بالدائرة المغناطيسية لأنه مسار مغلق. و يلاحظ في هذه الدائرة ما يلي:



شكل(1.7)

1. تعتمد كمية الفيض المغناطيسي المتكون في القالب الحديدي على كل من التيار I و عدد لفاته فكلما زاد عدد لفاته N أو كمية التيار I فإن الفيض يزيد والعكس صحيح . يسمى حاصل ضرب N I بالقوة الدافعة المغناطيسية و يحسب من خلالها الفيض في الدائرة:

$$m.m.f = N\,I \quad \dots\dots (1.7)$$

وتقارن هذه القوة بالقوة الدافعة الكهربائية *e.m.f* التي تجعل التيار يمر في الدائرة الكهربائية.

2. يواجه الفيض عند انسيابه في الدائرة مقاومة تسمى *reluctance* **(معاوقة)** تعتمد على طول مسارالدائرة المغناطيسية ABCDA في هذه الحالة و مساحة مقطع أجزاء الدائرة وطبيعة المادة المتكونة منها الدائرة.

2.7 تحليل الدائرة المغناطيسية *Analysis of magnetic circuit*

إذا كان طول الدائرة ℓ ومساحة مقطع أجزائها المنتظمة A من العلاقات:

$$B = \frac{\emptyset}{A} \quad \dots\dots (2.7)$$

$$H = \frac{B}{\mu_r \mu_o} \quad \dots\dots (3.7)$$

و باعتبار *m.m.f* ناتجة عن الشغل *work* اللازم لتحريك وحدة قطب شمالي مغناطيس مرة واحدة حول مسار الدائرة المغناطيسية:

$$H\ell = N\,I \quad \dots\dots (4.7)$$

وبذلك فإن:

$$\emptyset = \frac{NI}{\frac{l}{A\mu_r\mu_o}} = \frac{Nl}{S} \quad \dots\dots (5.7)$$

وكما سبق تسمى N I القوة الدافعة المغناطيسية *m.m.f* وهي القادرة على إنتاج

فيض في الدائرة ووحدة القياس A. Turn أما القيمة:

$$S = \frac{l}{A\mu_r\mu_o} \quad \dots\dots(6.7)$$

تسمى مقاومة *Reluctance* (معاوقة) الدائرة المغناطيسية وهي مقاومة انسياب الفيض خلال الدائرة:

$$Flux\ \emptyset = \frac{m.m.f}{Reluctance} \quad \dots\dots(7.7)$$

و هذه العلاقة تشبه قانون أوم

$$I = E/R$$

m.m.f تشبه *e.m.f* في الدائرة الكهربائية *Reluctance* تشبه Resistance في الدائرة الكهربائية.

ϕ الفيض يشبه التيار I في الدائرة الكهربائية و تسمى هذه العلاقة قانون أوم للمغناطيسية والمقاومة *Reluctance* يمكن أن يعبر عنها:

$$S = \frac{l}{A\mu}$$

$$\mu = \mu_r\mu_o$$

ووحدتها (*At/wb*) وهي تشبه:

$$R = \frac{l}{A\sigma}$$

في الدائرة الكهربائية حيث الموصلية:

$$\frac{1}{\rho} = \sigma$$

الرمز σ (حرف إغريقي ينطق سيجما) يرمز للموصلية الكهربائية و ρ المقاومة النوعية، أما مقلوب S يسمى *Permeance* وهي تشبه التوصيل *Conductance* مقلوب المقاومة R.

3.7 المقاومة بين الدائرتين المغناطيسية والكهربائية

Comparison between magnetic and eclectic circuits

1. وجـــــــــــه التشابه *similarities*

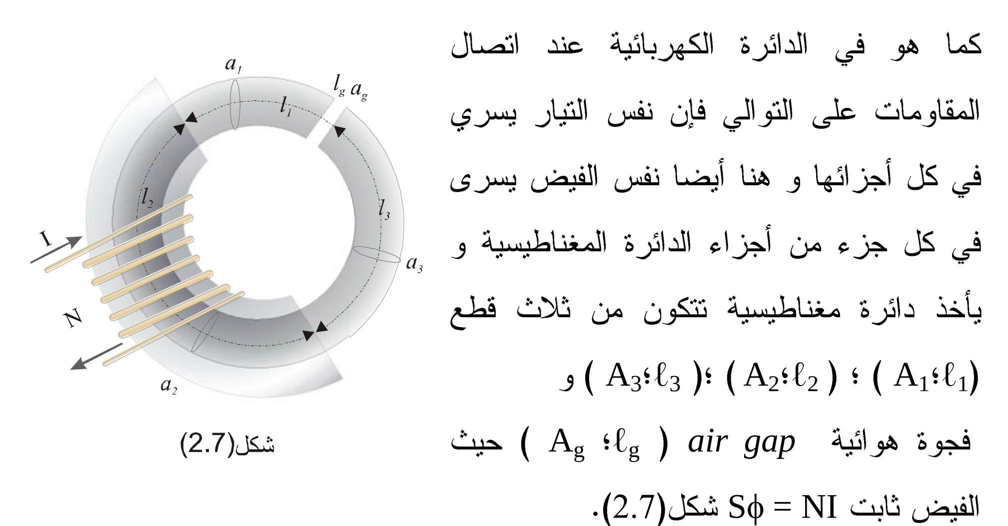
الدائرة الكهربائية	الدائرة المغناطيسية
المسار المغلق للتيار يُسمَّى دائرة كهربائيَّة	المسار المغلق للفيض يُسمَّى دائرة مغناطيسية
$\boldsymbol{I = \frac{e.m.f}{R}}$	$\emptyset = \boldsymbol{\frac{m.m.f}{Reluctance}}$
$\boldsymbol{R = \rho l/A = l/\sigma A}$	$\boldsymbol{S = l/(A\mu_o\,\mu_r)}$
$\boldsymbol{J = I\,/\,A}$	$\boldsymbol{B = \emptyset\,/\,A}$
$\boldsymbol{V = I\,/\,R}$	$\boldsymbol{m.m.f = \emptyset S}$
$\boldsymbol{E = V\,/\,d}$	$\boldsymbol{H = NI\,/\,l}$

حيث: J كثافة التيار ،B كثافة الفيض.

2. وجه الاختلاف *Dissimilarities*

الدائرة الكهربائية	الدائرة المغناطيسية
يوجد عدد من المواد العازلة من بينها الهواء	لا توجد مادة عازلة مغناطيسيا
تتغيّر المقاومة النوعية ببطء مع درجات الحرارة وبذلك تعتبر المقاومة الكهربائية ثابتة عمليا.	تتغير النفاذية النسبية مع كثافة الفيض وبالتالي تتغير المعاوقة أيضا.
تٌستهلَك الطاقةُ بمرور التيار خلالها ويستمر الاستهلاك بوجود التيارعلى شكل حرارة.	لا تُستهلَك طاقةُ لأنها تستخدم لتكوين الفيض وليس للمحافظة عليه.

4.7 الدائرة المغناطيسية في حالة توالي *Series magnetic circuit*



شكل(2.7)

كما هو في الدائرة الكهربائية عند اتصال المقاومات على التوالي فإن نفس التيار يسري في كل أجزائها و هنا أيضا نفس الفيض يسرى في كل جزء من أجزاء الدائرة المغناطيسية و يأخذ دائرة مغناطيسية تتكون من ثلاث قطع (A_1؛ℓ_1) ؛ (A_2؛ℓ_2) ؛ (A_3؛ℓ_3) و فجوة هوائية *air gap* (A_g ؛ℓ_g) حيث الفيض ثابت $S\phi = NI$ شكل(2.7).

$$Total\ m.m.f = \emptyset\left[\frac{l_1}{A_1\mu_o\mu_r}+\frac{l_2}{A_2\mu_o\mu_r}+\frac{l_3}{A_3\mu_o\mu_r}+\frac{l_g}{A_g\mu_o\mu_r}\right] \quad ...(8.7)$$

و باستخدام العلاقات السابقة:

$$B_1 = \emptyset / A_1$$

$$B_2 = \emptyset / A_2$$

$$B_3 = \emptyset / A_3$$

$$B_g = \emptyset / A_g$$

و كذلك:

$$H_1 = \frac{B_1}{\mu_o \mu_{r1}}$$

$$H_2 = \frac{B_2}{\mu_o \mu_{r2}}$$

$$H_3 = \frac{B_3}{\mu_o \mu_{r3}}$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_o}$$

نصل إلى:

$$m.m.f = H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 + H_3 \ell_3 + H_g \ell_g \quad \dots \dots (9.7)$$

5.7 الدائرة المغناطيسية في حالة توازى *parallel magnetic circuit*

هنا تختلف ϕ من قطعة لأخرى كما في الدائرة الكهربائية و كما أن التيارات الداخليـــة تساوى الخارجية كذلك عند النقطة B فإن:

$$\emptyset_1 = \emptyset_2 + \emptyset_3$$

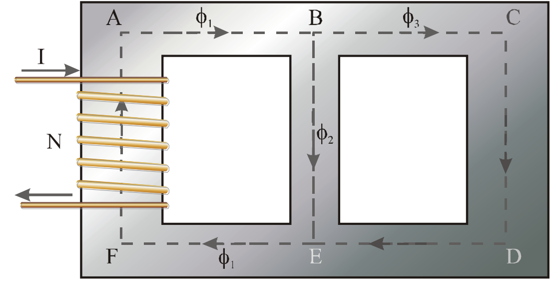
المساران B E و B C D E متوازيان و يشكلان دائرة مغناطيسية متوازية شكل(3.7).

m.m.f اللازمة لهذه الدائرة المغناطيسية تساوى *m.m.f* اللازمة لأي واحدة من المسار.

S_1 معاوقة المسار A B E F

S_2 معاوقة المسار BE

S_3 معاوقة المسار B C D E



شكل(3.7)

$$\text{Total } m.m.f = m.m.f \{E\ F\ A\ B\} + m.m.f \{B\ E)$$

أو المسار BCDE

$$N\,I = \phi_1\,S_1 + \phi_2\,S_2$$

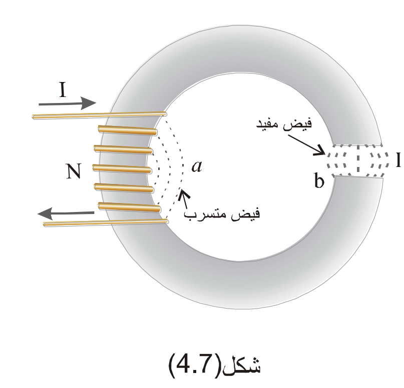
$$N\,I = \phi_1\,S_1 + \phi_3\,S_3$$

و تحسب المعاوقات S_1,S_2,S_3 كما سبق لمسارات الدائرة المغناطيسية والتي يوجد فيها كل من (ϕ_1,ϕ_2,ϕ_3).

6.7 تسرب الفيض *leakage flux*

الفيض الذي يخرج عن المسار المطلوب *desired* يسمى الفيض المتسرب في معظم الدوائر المغناطيسية العملية يمر الجزء الأكبر من الفيض خلال المادة المغناطيسية و الجزء الباقي يمر خلال الهواء. يسمى الفيض خلال الفجوة الهوائية *useful flux* وذلك للانتفاع به في أغراض مختلفة مفيدة.

الشكل (4.7) يبين حلقة حديدية ملفوفة و بها فجوة هوائية ضيقة،لا يمر خلالها الفيض الكلي الذي ينتجه الملف،لان بعض منه يتسرب خلال الهواء (المسار *a*) المحيط بقطعة الحديد،وخطوط الفيض عند *a* تسمى الفيض المتسرب *leakage flux*.



شكل(4.7)

الفيض الكلى (الفيض في الحديد) = ϕ_i

الفيض المفيد الذي يمر بالفجوة الهوائية =ϕ_g

الفيض المتسرب

$$\phi_{leak} = \phi_I - \phi_g$$

$$\lambda = \frac{Total\ flux}{Useful\ flux} \quad \dots\dots (10.7)$$

حيث λ معامل التسرب *leakage coefficient* وتساوي:

$$\lambda = \frac{\phi_i}{\phi_g}$$

7.7 أمثلــــــة

مثال(1.7) ما مقدار التيار الذي ينساب في دائرة ملفوف عليها سلك (15 *t*) ونصف قطرها (0.03*m*) و تعطي شدة مجال كهربائي قدره (H = 60 AT /m) في قالب (*core*) الدائرة.

الحــل:

متوسط الطول الذي يسري فيه الفيض المغناطيس يساوى محيط الدائرة:

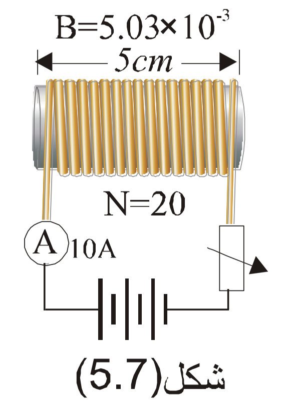
$$l = 2\pi r = 2(3.14)(0.03m) = 0.188\,m$$

$$I = \frac{Hl}{N}$$

قم بالتعويض في المعادلة السابقة للحصول على قيمة التيار I = 0.754A

مثال(2.7) احسب نفاذية القالب المصنوع منه جهاز المغناطومتر شكل(5.7)؟

الحــل:



شكل(5.7)

قوة المغنطة (*magnetizing force*):

$$H = \frac{NI}{l}$$

بالتعويض ففي المعادلة السابقة نحصل على قوة المغنطة:

H = 4000AT/*m*

نفاذية القالب:

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{5.03 \times 10^{-3}}{4000} = 1.26 \times 10^{-3}\ wb/ATm$$

مثال(3.7) لف ملف (*coil*) بانتظام (300*t*) على قالب فولاذ steel core نفاذيته النسبية $\mu_r = 900$، ومتوسط طوله $\ell = 40cm$ و مساحة مقطعه ($A = 5cm^2$) فإذا كانت للملف مقاومه قدرها R=100Ω تتصل بمصدر تيار مستمر 250V(D.C)

إحسب:

1. شدة المجال؟

2. الفيض الكلي؟

جـ. معاوقة الدائرة *Reluctance* ثم مقلوب المعاوقة *Permeance* للدائرة؟

الحــل:

نحسب قيمة التيار بالدائرة باستخدام قانون اوم:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{250\,V}{100\Omega} = 2.5A$$

ومن ثم نحسب شدة المجال:

$$H = \frac{NI}{l} = 1875\ AT/m$$

بعد التعويض:

$$B = \mu_o \mu_r H = 2.12\ wb/m^2$$

نحسب الفيض:

$$\phi = BA = 10.6 \times 10^{-4}\ wb$$

ثم نحسب المعاوقة على النحو التالي:

$$S = \frac{m.m.f}{flux} = \frac{750}{10.6 \times 10^{-4}} = 70.75 \times 10^4\ AT/wb$$

مقلوب المعاوقة:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{70.75 \times 10^4} = 1.4 \times 10^{-6}\ wb/AT$$

مثال(4.7) حلقة حديد مساحة مقطعها ($400m^2$) متوسط قطرها ($25cm$) لف عليها ($500t$) فإذا كانت ($\mu_r = 250$)، إحسب الفيض الناتج في الحلقة علماً بأن مقاومة الملف (470Ω) تتصل بمصدر جهد ($240V$).

الحــل:

التيار خلال الدائرة المغناطيسية:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{240}{477} = 0.506A$$

متوسط طول الدائرة المغناطيسية:

$$l = 2\pi r = \pi(25 \times 10^{-2}) = 0.7854\ cm$$

قوة المغنطة وتعني شدة المجال:

$$H = \frac{NI}{l} = 322.13\ AT/m$$

تحقق من الناتج.

كثافة الفيض:

$$B = \mu_o \mu_r H = 0.1012\ wb/m^2$$

الفيض خلال الحلقة:

$$\phi = BA = 40.48 \times 10^{-4}\ wb$$

تحقق من النتيجة.

مثال(5.7) حلقة حديد مساحة مقطعها $A = 6cm^2$ لف عليها ســـلك ($100t$) لفـــة،ثم قطعت على محيطها فتحة طولها (ℓ_g=2mm) احسب تيار المغنطـــة (*magnetizing current*) اللازم لإنتاج فـــيض (ϕ = 0.1mwb) إذا كـــان متوســـط طـــول المســـار المغناطيسي (ℓ=30cm) والنفاذية النسبية (μ_r = 470).

الحـــل:

كثافة الفيض:

$$B = \frac{\emptyset}{A} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-4}} = 0.167\ wb/m^2$$

القوة الدافعة المغناطيسية:

$m.m.f$ = NI (*ampere turn*)

$$H = \frac{B}{\mu_o \mu_r}$$

$$H = \frac{B}{\mu} l_g = \frac{0.167/(2 \times 10^{-3})}{4\pi \times 10^{-7}} = 265.8\ AT$$

وبذلك تكون القوة الدافعة المغناطيسية الكلية

($m.m.f$) = القوة الدافعة للمسار + القوة الدافعة للفجوة (الفتحة).

Total (Hℓ) = 265.8 + 84.83= 350.63 AT

وبذلك يكون التيار اللازم للفيض المذكور:

$$I = \frac{(Hl)}{N} = \frac{(350.63)}{100} = 3.51\ A$$

مثال(6.7) حلقة حديد متوسط محيطها ($1.5m$) ومساحة مقطعها ($0.01m^2$) قطعت من محيطها فتحة gap طولها ($\ell_g = 0.4\ mm$).احسب تيار المغنطة اللازم لإنتاج فيض في الفتحة مقداره ($0.8m\ wb$) إذا لف سلك على الحلقة ($175t$) لفة بفرض أن ($\mu_r=400$) و معامل التسرب ($\lambda=1.25$)؟

الحــل:

1. حساب القوة الدافعة المغناطيسية للفتحة الهوائية (*air gap*):

$$B_g = \frac{\emptyset_g}{A_g} = 0.08\ wb/m^2$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_o} = 63662\ AT/m$$

$$(m.m.f)_g = H_g l_g = 254.6\ AT$$

2. حساب القوة الدافعة الكهربائية لمسار حلقة الحديد:

$$\emptyset_i = \emptyset_g \lambda$$

$$B_i = \frac{\phi_i}{A}$$

$$H_i = \frac{B}{\mu_o \mu_r}$$

$$(m.m.f)_i = H_i l_i = 298.5$$

لحسب القوة الدافعة المغناطيسية (الكلية) = القوة الدافعة (المسار+الفتحة):

$$(m.m.f) = 254.6 + 298.5 = 533.1$$

نحسب التيار:

$$I = \frac{(m.m.f)}{N} = \frac{533.1}{175} = 3.16\,A$$

مثال(7.7) دائرة مغناطيسية ينساب الفيض خلالها من ملف (120 *turns*) ومساحة مقطعها (5*cm*) وطولها (25*cm*).يمر خلال الملف (1.5A) حيث أصبح الفيض (0.3*mwb*)، وعندما يمر في الملف (5A) يصبح الفيض (0.6*mwb*).عين كلاً من H و μ_r للمادة المغناطيسية لهاتين الحالتين؟

الحــل:

عندما يكون التيار I = 1.5A

m.m.f = N I = 120 ×1.5 = 180At

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{180}{25 \times 10^{-2}} = 720A/m$$

$$B = \frac{\emptyset}{A} = \frac{0.3 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-4}} = 0.6T$$

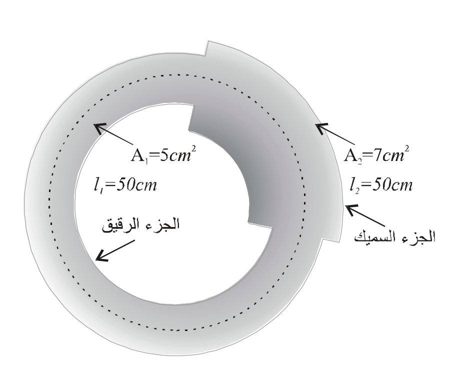
$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{0.6}{720} = 833.33\mu H/m$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} = \frac{833.33 \times 10^{-6}}{4\pi \times 10^{-7}} = 6631$$

نفس الخطوات تطبق عندما يكون التيار $I = 5A$

متروك للطالب.

مثال(8.7) حلقة كما بالشكل مصنوعة من مادة حديدية مغناطيسية (*Ferromagnetic material*) نفاديتها النسبية 600 تم الحصول على كثافة فيض (1.6T) في الجزء الرقيق من الحلقة. إحسب *m.m.f* والتيار إذا كان عدد اللفات(300 *turns*)؟



الحـــل:

للجزء الرقيق كثافة الفيض ($B = 1.6T$):

$$H = \frac{B}{\mu_o \mu_r} = \frac{1.6}{4\pi \times 10^{-7} \times 600} = 2122.06 A/m$$

$$m.m.f = H\,l = 2122.06 \times 0.5 = 106.63\ A$$

للجزئ السميك (نفس الفيض يمر في الجزئين):

$$\phi = BA = 1.6 \times 5 \times 10^{-4}\ wb$$

$$B = \frac{\emptyset}{A} = \frac{1.6 \times 5 \times 10^{-4}}{7 \times 10^{-4}} = 1.143T$$

$$H = \frac{B}{\mu_o \mu_r} = \frac{1.143}{4\pi \times 10^{-7} \times 600} = 151576 A/m$$

$$m.m.f = H\,l = 151576 \times 0.1 = 151.58\ \text{A}$$

$$Total\ m.m.f = 106.03 + 151.58 = 1212.61\text{At}$$

$$I = \frac{m.m.f}{N} = \frac{1212.61}{300} = 4.042A$$

8.7 مســــــائل

1. احسب $m.m.f$ اللازمة لإنتاج فيض كثافته ($0.6w/m^2$) في فجوة هوائية طولها $8mm$؟

الجواب(480×10^3AT)

2. ملف عدد لفاته 200 لفة، تمَّ لفه بانتظام على حلقة خشبية محيطها $60cm$ ومساحة مقطعها المنتظم $5cm^2$. فإذا مر تيار خلال الملف مقداره 4A احسب:

أ. قوة المغنطة *Magnetising force*؟

ب. كثافة الفيض؟

جـ. الفيض الكلي؟

الجواب ($133AT/m$, 1675μWb/m^2,0.8375μWb)

3. قالب من الحديد يشكل دائرة مغناطيسية مغلقة طول مسارها $32cm$. احد نصفي هذه الدائرة مساحة مقطعها $2cm^2$ ونفاذيته النسبية 800 أما النصف الآخر مساحة مقطعه $4cm^2$ ونفاذيته النسبية 400 علما بأن عدد لفات الدائرة 1000لفة . ما مقدار التيار اللازم لإنتاج فيض مقداره $0.4wb$ في القالب؟ مع إهمال عوامل التسرب

الجواب (636.8A)

4. حلقة حديد مساحة مقطعها $400mm^2$ ومتوسط قطرها $250mm$.قُطِعت بداخلها فجوةٌ هوائيّةٌ طولُها $1mm$ فإذا كان الفيض الازم للفجوة مقداره $0.3mwb$. ما التيار الضروري لإنتاج هذا الفيض إذا كانت عدد لفات الحلقة 400 لفة ونفاذيتها النسبية 500؟

5. حلقة حديد متوسط محيطاها $60cm$ ونفاذيتها النسبية 300 لُفَّ عليها 300 لفة وقُطِعت بداخلها فجوةٌ هوائية . وعندما مر تيار خلال الملف مقداره $1A$ أصبحت كثافة الفيض المغناطيسي للفجوة $0.126\ wb/m^2$.ما طول الفجوة ؟

الجواب ($1mm$)

6. دائرة حديد مغناطيسية ذات مساحة مقطع منظم $5cm^2$ وطولها $25cm$. لُفَّ على هذه الدائرة 120 لفة بانتظام وعندما مر تيار $1.5A$خلال الملف أصبح الفيض الكلي $0.3wb$.احسب النفاذية النسبية للحديد؟

الجواب(663)

7. فجوة هوائية طولها ($1.1mm$) ومساحة مقطعها ($20cm^2$) في دائرة مغناطيسية.إحسب:

أ. معاوقة الفجوة؟ **ب.** $m.m.f$ اللازمة لإنتاج فيض قدره ($0.7mwb$) في الفجوة؟

الجواب ($4.377\times10^5\ H/m$,$306.39At$)

8. في المثال(8.7) تم قطع فجوة ($3mm$) في الجزء الرقيق مع بقاء البيانات السابقة كما في المثال.إحسب $m.m.f$ والتيار؟

الجواب ($5025.84At,16.75A$)

9. لملف هوائي ($400\ turns$) ،ومتوسط طول المسار المغناطيسي ($60cm$) ومساحة مقطعه ($5cm^2$).إذا كان التيار خلال الملف ($5A$) إحسب:

أ. H ؟ **ب.** B ؟ **جـ.** ϕ ؟

الجواب ($3333.33A,0.004189T\ ,2.0945\mu wb$)

10. دائرة مغناطيسية ملفها (200*turns*) ويمر خلاله تيار قدره (2A) ،وطول ومساحة الدائرة ($20cm$,$4cm^2$).إحسب (μ_r,B,H) إذا كان الفيض (5*mwb*)؟

الجواب (200A/*m* ,1.25T ,0.625*mH*/*m*)

11. كهرومغناطيس متوسط محيطه (40*cm*) إستخدم لانتاج فيض كثافته (0.8T) في مغناطيس. إذا كانت النفاذية النسبية 600 وللملف (100 *turns*).إحسب القوة الدافعة المغناطيسية *m.m.f* والتيار في الدائرة؟

الجواب (424.4A*t* ,4.244A)

12. عرف المعاوقة وإشرح مفهومها؟ وما الأكثر معاوقة مسار فجوة هوائية أم مسار الحديد؟ ولماذا؟ ثم اثبت أن:

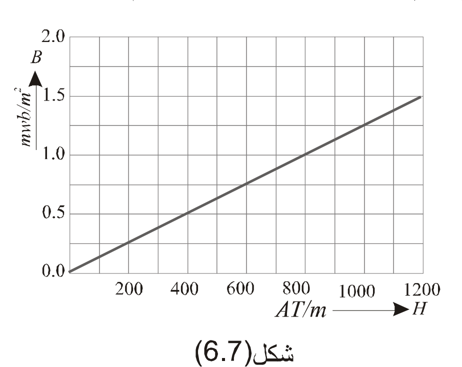
$$B = \mu H$$

9.7 منحنـــــى العلاقة بين كثافة الفيض وشدة المجال *B-H Curve*

يسمى هذا المنحنى بمنحنى المغنطة *magnetization curve* يُعيَّن من خلاله السلوك الّتي تسلكه كثافة الفيض عندما تتغييَّر مع شدة المغنطة *magnetizing force* أو شدة المجال المغناطيسي *magnetic field intensity*:

1.9.7 المنحنـــى لغير المادة المغناطيسية *non-magnetic material*

لغير المواد المغناطيسية (الهواء –النحاس – المطاط – الخشب ...إلخ) . والعلاقة بين B وH علاقة خطية ($B=\mu_0H$) في الشكل (6.7) يُلاحَظ أن الخط المستقيم يمر بنقطة الأصل ، يُلاحظ هنا أن المنحنى لن يصلَ إلى التشبُّع مهما تكن كثافة الفيض و كذلك تجدر الملاحظة بأنه يستوجب قوة دافعة مغناطيسية كبيرة لإنتاج فيض ما في المادة غير المغناطيسية مثل الهواء.



شكل(6.7)

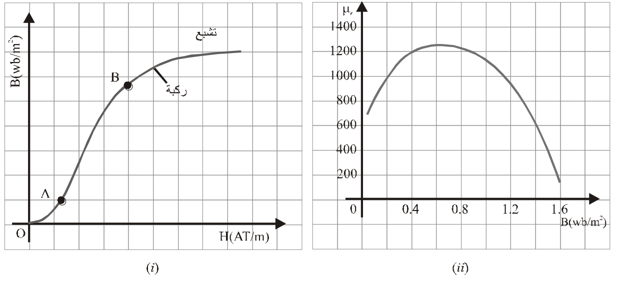
2.9.7 منحنـــــى المادة المغناطيسية *magnetic material*

للمواد المغناطيسية (الحديد – الفولاذ – النيكل...الخ) تكون العلاقة بين B وHغير خطية تدخل فيها النفاذية النسبية التي تتغيَّر مع كثافة الفيض حسب العلاقة

$$B = \mu_0\mu_r H \quad \dots \dots \; (11.7)$$

والتي يوضحها الشكل (7.7) حيث يمكن ملاحظة التقعر الطفيف إلى أعلى في الجزء OA ثم يكتسب الصفة الخطية في الجزء AB حيث يغلب على هذه المنطقة من كثافة الفيض ثبوت النفاذية النسبية تقريبا ،وعند كثافات الفيض العالية يلاحظ أن جزء

المنحنى بعد النقطة B يتقعر إلى أسفل (يُسمَّى ركبة المنحنى)؛ بعد ذلك أي زيادة في H لن ينتجَ عنها أيُّ زيادة في B ويصبح المنحنى مسطَّحا *Flat* ويُقال عن المادة بأنها مشبَّعةٌ *saturated* .



شكل(7.7)

الشكل (7*i*.7) يوضح تغيَّر النفاذية النسبية لمادة مغناطيسية (*cast steel*) مع كثافة الفيض ، ويعطي المنحنى B-H أكثر دقة للحسابات المغناطيسية.

3.9.7 الحسابات المغناطيسية من منحنيات (كثافة الفيض،شدة المجال)

Magnetic Calculation from B-H

يكون حل الدوائر المغناطيسية سهلا باستخدام منحنيات B-H وذلك بإتباع الخطوات التالية :

1. حدد قيمة H المقابلة لكثافة الفيض B من منحنى B-H للمادة.

2.احسب الطول المغناطيسي.

3. احسب القوة الدافعة المغناطيسية اللازمة $m.m.f = Hl$.

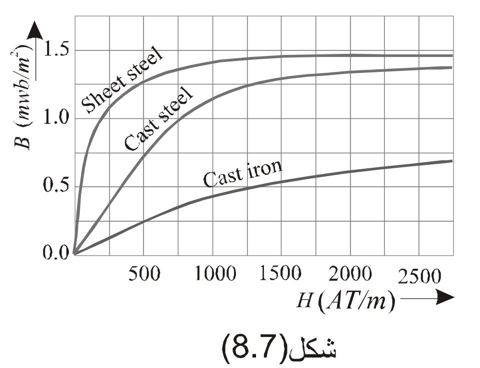
ويمكن للطالب أن يلاحظ أن استخدام منحنى B-H في الحسابات المغناطيسية يوفر كثيرا من الوقت ؛ مثلا الشكل (8.7) يوضح منحنيات B-H لعدد من المواد (*Sheet steel, cast steel and cast iron*)

ملاحظـــــة:- لا نحتاج للمنحنى **B-H** لحساب القوة الدافعة المغناطيسية لفجوة هوائية

ولكن عند حساب القوة الدافعة للحديد إذا استخدمنا العلاقة:

$$H=B/\mu_0\mu_r$$

ولأن النفاذية النسبية ليست ثابتة بل تعتمد على كثافة الفيض العاملة *working flux density* وعليه فإن هذه العلاقة لن تقودنا إلى الحل الصحيح وبدلا من ذلك نستخدم **H** المقابلة لكثافة الفيض **B** من المنحنى **B-H** ومن ثَمَّ نحسب *m.m.f*.



شكل(8.7)

مثال(8.7) حلقة من *cast steel* متوسط قطرها 30*cm* ومساحة مقطعها الدائري 5cm^2 ، لُفَّ عليها بانتظام 500 لفة.عيِّن تيار المغنطة اللازم لفيض($\phi = 5\times10^{-4} wb$):

1. بدون فجوة هوائية؟
2. بوجود فجوة طولها 1*mm*؟

الجدول التالي يوضح منحنى المغنطة لمادة *cast steel*.

B(Wb)/m^2	02	0.4	0.6	0.8	1	1.2
H(AT/m)	175	300	400	600	850	1250

الحــل:

ارسم المنحنى B-H من البيانات المبوبة في الجدول السابق فتحصل على المنحنى B-H (على الطالب رسم المنحنى).

1. بدون فجوة هوائيـــــــــة

نحسب كثافة الفيض للمادة كما سبق من العلاقة:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{5 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-4}} = 1wb/m^2$$

ومن المنحنى B-H نجد أن:

$$H = 850 AT/m$$

ويتم حساب الطول:

$$l = \pi d = 3.14 \times 0.3 = 0.942\ m$$

ثم يتم حساب القوة الدافعة المغناطيسية الكلية:

$$m.m.f = Hl = 850 \times 0.942 = 800.7\ AT$$

أما تيار المغنطة:

$$I = m.m.f/N = 800.7/500 = 1.6A$$

2. بوجود فجوة طولها $1mm$.

في هذه الحالة لا نستخدم منحنى المغنطة بالنسبة للفجوة وحيث أن كثافة الفيض خلال المادة تساوي كثافة الفيض خلال الفجوة ومن هنا يتم حساب كل من قوة مغنطة الفجوة والقوة الدافعة المغناطيسية على الفجوة ثم تضاف إلى القوة الدافعة المغناطيسية للمادة لحساب القوة الكلية للدائرة وتيار المغنطة في هذه الحالة:

$$H_g = \frac{B}{\mu_o} = \frac{1 \times 10^7}{4\pi} = 7.96 \times 10^5\ AT/m$$

القوة الدافعة المغناطيسية للفجوة:

$$m.m.f = H_g l_g = (7.96\times10^5)(1\times10^{-3}) = 796\ AT$$

القوة الدافعة الكلية:

$$Total\ m.m.f\ required = 800.7 + 796 = 1596.7\ AT$$

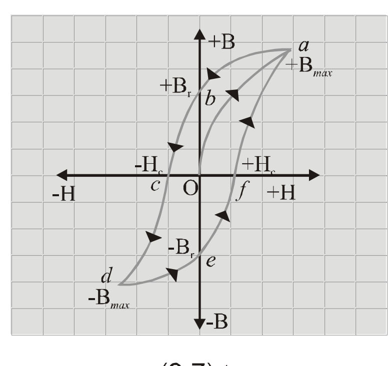
تيار المغنطة:

$$Magnetizing\ current = I = 1596/500 = 3.19\ A.$$

10.7 التخلفية (التبطاؤ) المغناطيسية *Magnetic Hysteresis*

عندما تتعرض المادة المغناطيسية لدورة من التمغنط *magnetization* (يعنى تتمغنط في اتجاه ما ثم في اتجاه آخر) من خلال التجربة لوحظ أن كثافة الفيض B في المادة تتأخر *lags* عن قوة المغنطة (*magnetizing force*) H . هذه الظاهرة تسمى بالتخلفية أو التباطؤ المغناطيسي.

" ظاهرة تخلف كثافة الفيض B عن قوة المغنطة H لمادة تعرضت لدورات cycle من التمغتط تعرف بالتخلفية المغناطيسية"



شكل(9.7)

والكلمة *Hysteresis* اشتقت من اللغة الإغريقية وتعنى التأخر إلى الخلف (*to lagbehind*) . فإذا تعرضت مادة مغناطيسية لدورة واحدة من التمغتط فإن محصلة المنحنى شكل (9.7)B-H عبارة عن حلقة مغلقة (closed loop) يرمز لها *a b c d e f a* و يسمى حلقة التخلفية *Hysteresis loop* . لاحظ أن B دائما يتأخر عن H . حيث عند النقطة *b* قيمة H تساوي صفراً بينماB موجبة محددة بالقيمة *ob* على المنحنى . بالمثل عند النقطة e قيمة H تساوي صفراً بينما B سالبة محددة بالقيمة *o e*. و هذا الميول *Tendency* إلى تخلف كثافة الفيض B عن قوة المغنطة H يعرف بالتخلفية المغناطيسية.

11.7 حلقة التخلفية *Hysteresis loop*

الشكل (14*ii*.7) يوضح المنحنى النموذجي B-H ويلاحظ هنا أولاً العلاقة غير الخطية *non linear relationship* بين B وH للحلزوني AB الموضح بالشكل(14*i*.7) وعندما يكون التيار في الحلزوني صفراً فإن قوة المغنطة H تساوي صفراً وبالتالي كثافة قطعة الحديد B هي الأخرى تساوي صفراً . وبزيادة H(نتيجة لزيادة التيار داخل الحلزوني) فإن كثافة الفيض B+ تزداد أيضا حتى تصل القيمة القصوى B_{max}+.

عند هذه النقطة تتشبع المادة ولن تزداد كثافة الفيض بغض النظر عن أي زيادة في التيار أو قوة المغنطة ويُلاحظ أن المنحنى B-H يتبع المسار *oa* وإذا تَمَّ تخفيض H تدريجيا (بتخفيض تيار الحلزوني) يُلاحظ أن كثافة الفيض B لا تنقص تبعا لنفس الخط الذي حدثت فيه الزيادة ولكن تتبع مسارا آخر وهو *ab* .

عند النقطة *b* قوة المغنطة H تساوي صفراً ولكن كثافة الفيض في المادة لها قيمة محددة B_r يمثلها *ob* تُسمَّى بالكثافة المتبقية *residual flux density*.

وهذا يعني أنه بعد إزالة H فإن قطعة الحديد لا زالت محتفظةً بالمغناطيسية B_r . أو بعبارة أخرى B تتأخر خلف H (B *lags behind* H) . وكلما زاد هذا التأخر تزيد المغناطيسية المتبقية (المقدار*ob*) التي تحتفظ به قطعة الحديد . ومقدرة المادة على الاحتفاظ بالمغناطيسية المتبقية يُسمَّى احتفاظية المادة *rententivity* .

وللتخلص من مغناطيسية قطعة الحديد (بمعنى إزالة المغنطة المتبقية) فإنه يتم زيادة قوة المغنطة في الاتجاه المعاكس بعكس اتجاه التيار خلال الملف . وعندما تزداد H تدريجيا في الاتجاه المعاكس فإن المنحنى B-H يتبع المسار*bc* وهكذا عندما (H=*oc*)

فإن المغناطيسية المتبقية تساوي صفراً وهذه القيمة لقوة المغنطة التي تصبح عندها كثافة الفيض تساوي صفرا تُسمَّى بالقوة القسرية (*coercive force* H_c) أما زيادة H في الاتجاه المعاكس فإن كثافة الفيض تزداد أيضا في الاتجاه المعاكس (B-) وتستمر هذه العملية خلال المنحنى *cd* حتى تصل المادة إلى التشبع في الاتجاه المعاكس عند النقطة$-B_{max}$ ولا يمكن عندها أن تزيد كثافة الفيض أكثر من ذلك. وعند تناقص H تدريجيا إلى الصفر تنقص كثافة الفيض أيضا ويتبع المنحنى المسار *de*.

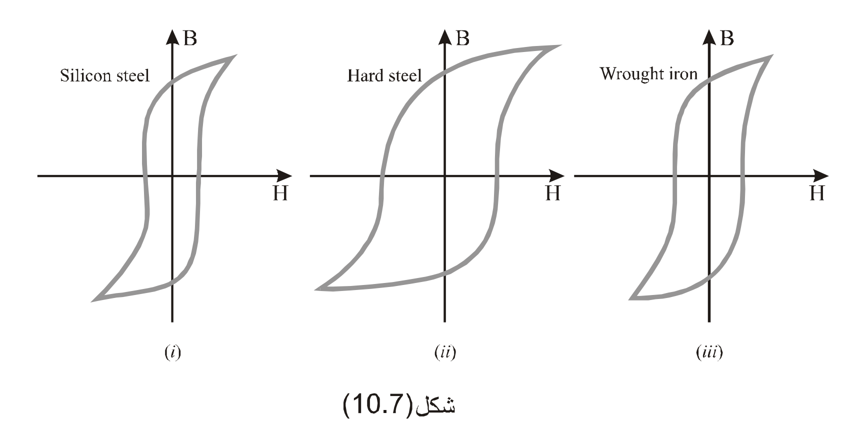
وعند النقطة *e* تساوي قوة المغنطة صفراً بينما لكثافة الفيض قيمة محددة $-B_r$ يمثلها *oe* وهي المغناطيسية المتبقية في الاتجاه المعاكس. ولكي تُحَيَّد المغناطيسية المتبقية فإنه يتم تسليط قوة المغنطة في الاتجاه الموجب (الاتجاه الأصلي) حيث عندما *of* =H (القوة القسرية) تكون كثافة الفيض في قطعة الحديد صفراً . ويُلاحظ أن المنحنى يتبعُ المسار *ef* . أما بزيادة H أكثر من ذلك في الاتجاه الموجب فإن المنحنى سيتبع المسار *fa* وبذلك تكتمل الحلقة *abcdefa*. وهكذا عندما تتعرض المادة المغناطيسية لدورة كاملة من التمغنط فإن B تتأخر دائما عن H وتكون محصلة المنحنى B-H هو حلقة مغلقة تُسمى حلقة التخلفية *hysteresis loop*. و يختلف شكل هذا المنحني المغلق من مادة إلى أخرى فبعض العناصر الحديدية مثلا *ferrites* تمتلك حلقة مغلقة مستطيلة الشكل وهذا النوع يستخدم في صناعة الحواسيب الرقمية *digital computers* لتخزين المعلومات مغناطيسيا.

أما مساحة الحلقة المغلقة *Hysteresis loop* يحسب من خلالها الطاقة المفقودة(*Energy loss*) لوحدة الحجوم لكل دورة من المغنطة الدوريــــــــة (*periodic magnetization*) لمادة التمغتط الحديدية *ferromagnetic*. وتكون هذه

الطاقة المفقودة على شكل حرارة . وتوجد الطاقة المفقودة في كل الآلات الكهربائية التي تتعرض فيها أجزائها الحديدية لدورات التمغنط ويظهر تأثير الطاقة المفقودة في ارتفاع درجة حرارة الآلة وتكمن أهمية حلقة التخلفية *Hysteresis loop* لاختيار المادة لتطبيق المناسب وفيما يلي توضيح لبعض هذه التطبيقات:

1. كلما تكون التخلفية أقل مساحة تكون أقل فقدا للطاقة فمثلا حلقة التخلفية لمادة (*silicon steel*) تمتلك مساحة صغيرة جدا و لذلك يستخدم *silicon steel* في صنع قوالب المحولات *transformer cores* وتدوير *rotating* الآلات التي تتعرض لإنعكاس سريع في التمغنط *rapid reversal may* . الشكل (10*i*.7).

2. الحلقة التخلفية لمادة *Hard steel* الفولاذ كما هو بالشكل (10*ii*.7) تشير أنه لهذه المادة إحتفاظية مغناطيسية *retentively* وقوة عالية لإزالة المغنطة (*coerecivity*) . وبذلك فإن *Hard steel* مناسب لاستخدامه في صنع المغناطيس الدائم *magnet permanenent* ولكن لكبر مساحة الحلقة يترتب عليه طاقة مفقودة كبيرة ولهذا فإن *Hard steel* ليس مناسبا في بناء الآلات الكهربائية.



شكل(10.7)

3. أما منحني *wrought iron* الحديد المطاوع يبين أن لهذه المادة مغنطة متبقية جيدة *good residual material* و قوة إزالة المغنطة معتدلة . وبذلك فإن الحديد المطاوع مناسب لصناعة *cores* قوالب الأجهزة الكهرومغناطيسية الشكل (10*iii*.7).

12.7 مســــــــائل

1. دائرة مغناطيسية محيطها (30*cm*) ما مقدار *m.m.f* اللازمة لإنتاج فيض كثافته (0.75) إذا لف على الدائرة (500*t*) ما مقدار التيار المثار (*exciting current*) فإذا كانت المادة مصنوعة من (*Soft Steel casting*) من خلال منحنى B-H يقابل B = 0.75 T شدة مجال (H=400A)؟

الجواب (0.24A)

2. ملف ذو قالب هوائي عدد لفاته (400*t*) متوسط مسار الفيض (60 *cm*) ومساحة مقطعه (5*cm*) فإذا كان التيار خلال الدائرة المغناطيسية (5A) احسب:

أ. H؟ ب. B؟ جـ. ϕ؟

الجواب ($3333.33A/m, 0.004189T, 2.0945\times10^{-6}wb$)

3. دائرة مغناطيسية مساحة مقطعها ($5cm^2$) وطولها (25*cm*) لف عليها (120*t*) نتج في هذه الدائرة فيض (0.3*mwb*) عندما مر خلالها تيار (1.5A) ثم أصبح الفيض (0,6*wb*) عندما مر تيار (5A) في كلا الحالتين احسب H و μ_r للقالب (*Core*) ؟

الجواب(case1:720A/*m*,663.1 case2: 2400A/*m*, 397.89)

4. في المسالة رقم (1) قطعت فجوة في الدائرة مقدارها (2*mm*) احسب *m.m.f* والتيار لنفس كثافته الفيض؟ ((ℓ=(30-0.2)

الجواب(1312.8AT,2.63A)

5. قالب على شكل حلقة (*ring*) مصنوع من مادة (*ferromagnetic*)

نفاذيته النسبية (μ_r= 600) ينتج في جزئها الرقيق *Thin section* والذي طوله 50*cm* وكثافة الفيض خلاله (1.6T).الجزء السميك *thick section* من الحلقة طوله 10*cm* احسب *m.m.f* والتيار إذا لف عليها (300t)؟

مساعدة:الفيض الذي ينتج في الجزء الرقيق هو نفسه الذي يسرى في الجزء السميك (*Thick*).

الجواب(1212.61AT,4.042A)

6. في المسالة رقم (5) قطعت في الجزء الرقيق (*Thin*) فجوة طولها (3*mm*) مع بقاء نفس البيانات احسب *m.m.f* والتيار؟

الجواب(5025.84AT, 16.75A)

7. فجوة هوائية طولها (1.1*mm*) ومساحة مقطعها ($20cm^2$) توجد في دائرة مغناطيسية احسب:

أ. معاوقة الفجوة (*Reluctance*) ؟

ب. *m.m.f* اللازمة لإنتاج فيض خلال الفجوة مقداره ($7\times10^{-4}wb$) ؟

الجواب(4.377×10^5H/*m*, 306.39AT)

8. موصلان يفصلهما (30*mm*) متوازيان في الهواء يحمل كل منهما 1000A احسب القوة لوحدة الأطوال على كل منهما وعين اتجاهها في الحالات التالية:

أ. إذا كان التياران في نفس الاتجاه؟

ب. إذا كان التياران متعاكسين؟

9. احسب مقدار *e.m.f* المستحثة ديناميكيا نتيجة (حركة الموصل) إذا كان (B=1.1T) وطول الموصل ($0.6m$) وسرعته ($50m/sec$) عندما:

أ. يتحرك الموصل عموديا على طوله والحركة عمودية على المجال؟

ب. يتحرك الموصل عموديا على طوله والحركة موازية للمجال؟

جـ. الموصل عموديا على طوله على طوله والحركة تميل بزاوية 45^o على اتجاه المجال؟

10. دائرة مغناطيسية مقطعها ($4cm^2$) طولها (مسار الفيض) $10cm$ وعدد لفاته 200 لفة مر فيها تيار (3A) فأنتج فيضا ($8\times10^{-4}wb$) احسب:

أ. B؟ ب. H؟ جـ. m؟

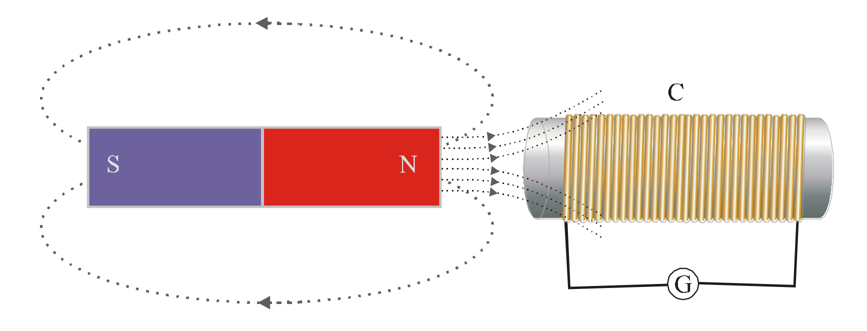
13.7 الحث الكهرومغناطيسي *Electromagnetic induction*

عندما يتصل (*linking*) الفيض المغناطيسي بموصل يتغير (أي متحرك) ينتج عن ذلك قوة كهربائية دافعة *e.m.f* مستحثة *induced* في الموصل *conductor* . فإذا عمل الموصل حلقة أو دائرة كاملة فينساب تيار خلاله (*a current will flow*). و تعرف هذه الظاهرة بالحث المغناطيسي *Electromagnetic induction*.

14.7 إنتاج القوة الدافعة الكهربائية المستحثة *e.m.f*:

لدراسة ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي يؤخذ الملف *c* في الشكل (1.8)ويلف عليه عدد من اللفات ثم يوصل بجلفانومتر G حساس ؛ فإذا قرب المغناطيس الدائم *permanent* نحو الموصل (الملف) يلاحظ عند هذه الحالة انحراف الجلفانومتر

Galvanometer في اتجاه ما، أما إذا ابعد المغناطيس عن الموصل (الملف*coil*) فإنه يلاحظ انحراف الجلفانومتر أيضا و لكن في الاتجاه المعاكس أي أنه لا يحصل انحراف يدل على التيار إلا بوجود حركة ؛ أما إذا توقفت الحركة لن يكون هناك تغيرا في الفيض و بالتالي لا توجد قوة دافعة كهربائية مستحثة في الملف.



شكل(11.7)

و يترتب على ذلك أن ينخفض مؤشرالجلفانومتر إلى الصفر.

يجب أن تؤخذ النقاط الآتية بعناية :

1. الشرط الأساسي لإنتاج *inducing* قوة دافعة *e.m.f* في ملف ليس اتصال الفيض بالملف فقط و لكن تغير الفيض *change in flux* الذي يتصل بالملف ، فإذا لم يتغيير الفيض لن يكون هناك قوة دافعة كهر بائية. التغير في الفيض المتصل بالملف يتم الحصول عليه بطرقتين:

أ. تتحرك الموصلات (الملفات) خلال مجال مغناطيسي ثابت *stationary magnetic* كما في محركات التيار المستمر D C.

ب. تبقي الموصلات (الملفات) ثابتة بينما يتحرك المجال كما في مولدات التيار المتردد A C.

2. تبقي *e.m.f* و بالتالي التيار الكهربائي في الموصلات طالما الفيض المتصل بها متغيرا.

ملاحظة :- لا تحصل *e.m.f* إذا تحرك الموصل موازيا للمجال المغناطيسي.

15.7 موصلية (ربط الفيض) *flux linkages*

حاصل ضرب عدد لفات الملف N و الفيض المغناطيسي ϕ المتصل بالملف يسمى *flux linkages*.

بينت التجارب أن *e.m.f* المستحثة في الملف تتناسب طرديا مع التغير في ربط الفيض بالنسبة للزمن t فإذا كان الفيض يزداد من ϕ_1 إلى ϕ_2 و N عدد لفات الملف

Induced e.m.f is proportional to the rate of change of flux linkages

يعني أن القوة الدافعة تتناسب مع معدل تغيير حاصل ضرب الفيض وعدد اللفات

$$\varepsilon \propto \frac{N\emptyset_2 - N\emptyset_1}{t} \quad \dots\dots (12.7)$$

و يمكن كتابة ذلك بالشكل التفاضلي:

$$\varepsilon = -N\frac{d\emptyset}{dt} \quad \dots\dots (13.7)$$

(يسمى قانون faraday)

الإشارة السالبة تمثل قاعدة *Lenz* والتي تنص على أن:

"التيار المستحث ينساب *induced current* في اتجاه عكس حركة المسبب له".

16.7 القوة الدافعة الناتجة عن الحث الذاتي *self – induced e.m.f*

القوة الدافعة الكهربائية التي تنتج في ملف عن التغير في فيضه الذاتي المتصل به

(*linked with it*) تسمى *self – induced e.m.f*.

عندما يحمل الملف تياراً شكل (12.7) ينتج عنه مجال مغناطيسي (أي يقطع الملف فيض مغناطيسي) و إذا تغير التيار فإن الفيض المتصل *linked* بالملف يتغير أيضا و هكذا تنتج قوة دافعة كهربائية في الملف. ويكون اتجاه هذه القوة عكس التغير في التيار المسبب لها و تبقى القوة الدافعة الناتجة عن الحث الذاتي طالما هناك تغير في التيار.

شكل (12.7)

17.7 معامل الحث الذاتي (L) *self inductance*.

الخاصية التي يملكها الملف لمقاومة *opposes* أي تغير في كمية التيار المار خلاله يسمى *self inductance* الحث الذاتي أو *Inductance* **الحــــــــث.**

هذه الخاصية ناتجة عن القوة الدافعة المستحثة *induced e.m.f* في الملف نفسه عن طريق تغير التيار. فعندما يزداد التيار في الملف فأن القوة الدافعة الناتجة عن الحث الذاتي *self–induced e.m.f* تنمو *set up* عكس اتجاه زيادة التيار بمعنى أن اتجاه *e.m.f* في عكس اتجاه الجهد الــمُسلط (*applied voltage*) . و بالمثل إذا تناقص التيار في الملف فإن اتجاه *e.m.f* سيكون عكس تناقص التيار بمعنى أن *e.m.f* سيكون في نفس اتجاه الجهد المسلط.ومن هنا يمكن ملاحظة أن *induced e.m.f* لا تمنع التيار من التغير و لكنها تأخر التغير فقط *only to delay the chmge*.

يعتمد معامل الحث الذاتي على:

1. شكل وعدد لفات الملف.

2. النفاذية النسبية للمادة المحيطة بالملف.

3. سرعة تغير المجال المغناطيسي.

18.7 مقدار القوة الدافعة المستحثة *Magnitude of self – induced e.m.f*

يأخذ ملف عدد لفاته N يحمل تياراً I إذا تغير هذا التيار فإن الفيض الذي يقطع الملف *Linkage of coil* سيتغير أيضاً.

ينتج عن هذا التغير في الفيض نمو *set up* في القوة الدافعة المستحثة *induced e.m.f* يعبر عنها:

$$\varepsilon = -N\frac{d\emptyset}{dt} = \frac{d(N\emptyset)}{dt}$$

و لكن الفيض ناتج عن مرور التيار في الملف و بذلك فإن:

$$I \propto (N\emptyset)$$

و منها:

$$\varepsilon = \frac{d}{dt}(N\emptyset) \propto \frac{dI}{dt}$$

$$\varepsilon = L\frac{dI}{dt} \quad \dots\dots (14.7)$$

حيث L ثابت التناسب يسمى معامل الحث الذاتي *self inductance* أو *inductance*. ووحدته (H) Henry.

من العلاقات السابقة:

$$L = \frac{N\emptyset}{I} \quad \dots\dots (15.7)$$

ويحسب الحث الذاتي لملف حلزوني من العلاقة:

$$L = \frac{N^2 A\mu_o\mu_r}{l} \quad \dots\dots (16.7)$$

19.7 القوة الدافعة الكهربائية المستحثة بالتبادل *Mutually induced e.m.f*

القوة الدافعة المستحثة في الملف الناتجة عن تغير التيار في الملف مجاور له تسمى *Mutually induced e.m.f*

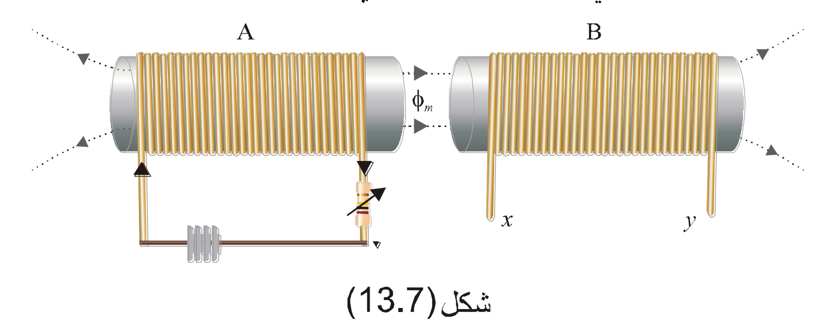
يأخذ ملفين متجاورين شكل (13.7) يمر جزء من الفيض الذي ينتجه A عبر B. و هذا الفيض مستمر بين الملفين و بذلك يسمى الفيض المتبادل ϕ_m (*mutual flux*) فإذا تغير التيار في الملف A فإن الفيض المتبادل يتغير وتحدث قوة دافعة في كلا الملفين *e.m.f induced in both coil* . فالقوة الدافعة المتكونة في A هي قوة مستحثة عن الحث الذاتي و قد تم دراستها في الفقرة السابقة.أما *e.m.f* المستحثة في B فهي قوة مستحثة بالتبادل.وهذه يعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_m = N_B \frac{d\emptyset_m}{dt} \quad \dots\dots (17.7)$$

$$\varepsilon_m = \frac{d\emptyset_m}{dt}$$

N_B = عدد لفات الملف B

معدل تغير الفيض المتبادل (الفيض المشترك بين الملفين) و هذه القوة تكون عكس المسبب لها و هو التغير في الفيض المتبادل الذي ينتجه A.



شكل (13.7)

و يمكن أن تؤخذ النقطتان الآتيتان بعين الاعتبار:

1. القوة *e.m.f* المستحثة بالتبادل تمر في الملف B طالما يستمر التيار في A متغيراً. أما إذا توقف التيار في A عن التغير (*Steady*) فإن الفيض المتبادل يتوقف أيضاً و تصبح *e.m.f* المستحثة بالتبادل صفراً.

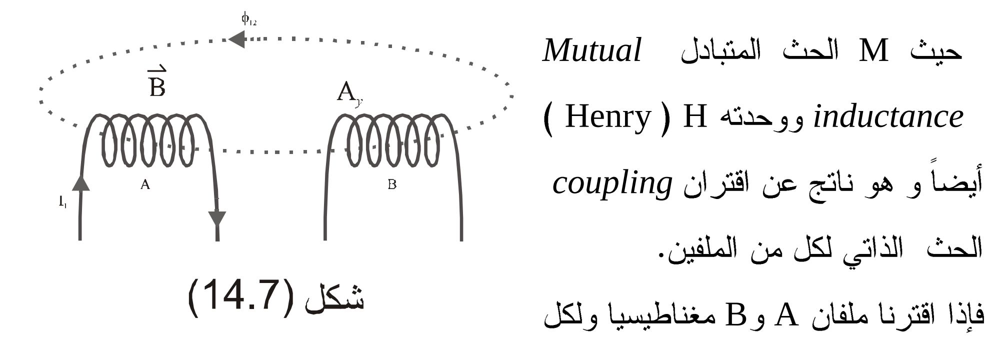
2. خاصية ملفين متجاورين ينتج عنها جهد مستحث في أحد الملفين نتيجه لتغير التيار في الآخر تسمى الحث المتبادل (*mutual inductance*).

20.7 مقدار *e.m.f* المستحثة بالتبادل *Magnitude of mutually induced e.m.f*

يأخذ ملفين B و A متجاورين شكل (14.7) فإذا مر تيار A في I فإنه ينمو *set up* فيض متبادل ϕ_{12} يقطع جزء منه الملف B. وإذا تغير التيار في A فإن الفيض المتبادل سيتغير أيضاً وتحدث e.m.f مستحثة في B بالتبادل و كما يلاحظ أن B ليس متصلا كهربائياً بالملف A ولكنها متصلان مغناطيسياً.

و تتناسب *e.m.f* المستحثة بالتبادل ε_M طرديا مع تغير التيار في الملف A :

$$\varepsilon_M = M\frac{dI_1}{dt} \quad \dots\dots (18.7)$$



شكل (14.7)

حيث M الحث المتبادل *Mutual inductance* ووحدته H (Henry) أيضاً و هو ناتج عن اقتران *coupling* الحث الذاتي لكل من الملفين.

فإذا اقترنا ملفان A و B مغناطيسيا ولكل منهما عدد لفات N_1 و N_2 على الترتيب شكل (14.7). نفرض أن التيار يمر في A ينتج فيضا متبادلا ϕ_{12} و هو جزء من الفيض الذي ينتجه A و الذي يقطع B:

$$\varepsilon_M = M\frac{dI_1}{dt} = \frac{d}{dt}(MI_1)$$

$$\varepsilon_M = N_2\frac{d\emptyset_{12}}{dt} = \frac{d}{dt}(N_2\emptyset_{12})$$

من هاتين العلاقتين:

$$MI_1 = N_2\emptyset_{12}$$

$$M = \frac{N_2\emptyset_{12}}{I_1}$$

و باعتبار الملف A حلزوني فإن:

$$\emptyset_{12} = AB_A$$

$$B_A = \frac{\mu_o \mu_r}{l} N_1 I_1 \quad \dots \dots (19.7)$$

بالتعويض:

$$B_A = \left(\frac{N_2}{I_1}\right) \frac{\mu_o \mu_r}{l} N_1 I_1 = \frac{N_1 N_2 \mu_o \mu_r A}{l}$$

حيث A مساحة الملف.

$$M = \frac{N_1 N_2 \mu A}{l} \quad \dots \dots (20.7)$$

راجع الفقرة (18.7).

21.7 معامل الربط *co-efficient of coupling*

يعرف معامل الربط K بين ملفين بأنه نسبة *fraction* الفيض المغناطيسي الذي ينتجه التيار الذي يمر في أحد الملفين و الفيض الذي يقطع *links* الملف الأخر.

أو بعبارة أوضح :

معامل الربط=(فيض الملف الذي يدخله التيار) \ (فيض الذي يقطع أو يصل الى الملف الآخر)

$$K = \frac{\emptyset_m}{\emptyset_t} \quad \dots \dots (21.7)$$

حيث ϕ_m فيض الملف الذي يدخل إليه التيار (flux of the coil receiving current)

أما ϕ_τ هو الفيض الذي يقطع الملف الآخر(*flux that links with the other coil*)

إذا كانت (K=1) فإن (100%) من الفيض الذي ينتجه ملف يقطع الملف الأخر أما إذا كان (K= 0.5) فإن (50 %) من فيض الملف الأول تقطع الأخر. إذا كان لملفين حث ذاتي L_1 وL_2 فإن الحث المتبادل M بينهما:

$$M = K\left(\sqrt{L_1 L_2}\right) \quad \dots\dots (22.7)$$

22.7 الطاقة المخزنة في المجال المغناطيسي

Energy stored in a magnetic field

يمكن شرح الطاقة المخزنة في المجال المغناطيسي كالآتي عند قفل الدائرة (*closed switch*) يزداد التيار ببطء نتيجة للحث الذاتي L و يصل قيمه ثباته *steady* النهائية (I=V/R) بعد فترة من الزمن.

خلال دورة التغير و بينما يزداد التيار تتكون *e.m.f* في الملف الذي حثه L نتيجة للتغير في الفيض (Nϕ).

تقاوم *e.m.f* تغيرالتيار.وبذلك يجب أن تزود الدائرة بطاقة كهربائية لإبقاء التيار عكس اتجاه القوة الدافعة المستحثة:

$$L\,\frac{di}{dt}$$

وهذه الطاقة التي زودت *Supplied* بها الدائرة مخزنة في المجال المغناطيسي. وعندما يزداد التيار تزداد الطاقة المخزنة أيضاً.ولكن عندما يصل التيار قيمة ثابتة (I=V/R) فإن *e.m.f* تهبط إلى الصفر ولاحاجة لمزيد من الطاقة للمحافظة على الفيض. عند هذه المرحلة تبقي الطاقة المخزنة عند قيمة ثابتة تقابل I .

و عندما تفتح الدائرة فإن انهيار *collapsing* المجال المغناطيسي يجعل الطاقة المخزنة تعود إلى الدائرة من جديد وتحسب الطاقة المخزنة من العلاقة:

$$W = \frac{1}{2} L I^2 \quad \ldots \ldots (23.7)$$

ولملف عدد لفاته N يلف على دائرة مغناطيسية طولها ℓ و مساحة مقطعها منتظم A :

$$E = \frac{1}{2}\left(\frac{N^2 A \mu_o \mu_r}{l}\right) I^2 = \frac{1}{2}\mu(Al)H^2 \quad \ldots \ldots (24.7)$$

ولوحدة الحجوم:

$$E = \frac{B^2}{2\mu_o} \quad \ldots \ldots (25.7)$$

23.7 أمثلـــــة

مثال(1.9) ملف (2000*t*) يحيط بفيض (5*mwb*) ناتج عن مغناطيسي دائم.

سحب المغناطيس فجأة بحيث هبط الفيض داخل الملف إلى (2*mwb*) خلال (0.1*sec*)

ما مقدار متوسط *e.m.f* المستحثة؟

الحـــل:

التغير في الفيض:

$$d\emptyset = 3 \times 10^{-3}\ wb$$

الزمن الذي أستغرقه تغير الفيض:

$$dt = 0.1\ sec$$

$$\varepsilon = N\frac{d\emptyset}{dt} = \frac{2000(3\times 10^{-3})}{0.1} = 60\ V$$

مثال(2.9) ملف ($100t$) اتصل *linked* بفيض مقداره ($20mwb$) . فإذا عكس اتجاه الفيض خلال زمن قدره ($2msec$). احسب متوسط e.m.f المستحثة ؟

الحــل:

التغير في الفيض:

$$d\emptyset = 20 - (-20) = 40\ mwb = 40\times 10^{-3}\ wb$$

الزمن الذي استغرقه:

$$dt = 2\times 10^{-3}\ sec$$

$$\varepsilon = N\frac{d\emptyset}{dt} = \frac{100(40\times 10^{-3})}{2\times 10^{-3}} = 2000\ V$$

مثال(3.9) لف سلك على دائرة مغناطيسية معا وقتها ($S = 2000At/wb$) (200 لفة) فإذا انساب تياره (1A) ثم عكس اتجاهه خلال ($10msec$) احسب متوسط *e.m.f* المستحثة؟

الحــل:

$$\emptyset = \frac{m.m.f}{s} = \frac{NI}{s} = \frac{200\times 1}{2000} = 0.1\ mwb$$
$$d\emptyset = 0.1 - (-0.1) = 0.2\ mwb$$

$$dt = 10\times 10^{-3}\ sec$$

$$\varepsilon = N\frac{d\emptyset}{dt} = \frac{200(0.2 \times 10^{-3})}{10 \times 10^{-3}} = 4\ V$$

مثال(4.9) مولد تيار مستمر**DC** له أربع أقطاب و يتكون من 4 ملفات كل منها 1200 لفة على التوالي عندما يثار *excited* المجال ينتج فيض **(**$0.04wb$**)** لكل قطب. فإذا فتح المفتاح (*switches*) بسرعة يهبط فيها الفيض إلى ($0.004wb$) لكل قطب.خلال زمن $0.1sec$. احسب القوة الدافعة بين طرفي المولد؟

الحـــل:

عدد اللفات الكلي N = 1200 × 4 = 4800 فيكون الفيض الابتدائي الكلي:

$$\emptyset_i = 4 \times 0.04 = 0.16\ wb$$

الفيض المتبقـــــــــــــي:

$$\emptyset_f = 4 \times 0.004 = 0.016\ wb$$

مقدار التغير في الفيض:

$$d\emptyset = 0.16 - 0.016 = 0.144\ wb$$

القوة الدافعة بين طرفي المولد:

$$\varepsilon = N\frac{d\emptyset}{dt} = \frac{4800(0.144)}{0.1} = 6912\ V$$

مثال(5.9) ما المعدل اللازم لموصل مفرد *single conductor* ليقطع فيضا ينتج تياراً قدره $1.2mA$ ينساب خلال مقاومة (10Ω) بين طرفي الموصل؟

$$\varepsilon = N\frac{d\emptyset}{dt}$$

$$\frac{d\emptyset}{dt} = \frac{\varepsilon}{N}$$

$$\varepsilon = IR = 1.2 \times 10^{-3} \times 10 = 1.2 \times 10^{-2}\ V$$

N = 1

مثال(6.9) ملف (100t) يمر فيه تيار (5A) يسبب فيضاً قدره (6*mwb*) يقطع الملف. ما مقدار الحث الذاتي (L) للملف؟

الحــل:

N =1000t

$$\emptyset = 6 \times 10^{-3}\ wb$$

$$L = \frac{N\emptyset}{I} = \frac{1000 \times 6 \times 10^{-3}}{5} = 1.2\ H$$

مثال(7.9) لف ملف على قالب حديد نفاذيته النسبية (400) وعدد لفاته (150*t*) و مساحة مقطعه ($5cm^2$) احسب حث الملف إذا كان التيار عند الاستقرار(steady) يساوي 3*m*A و ينتج مجالاً مغناطيسياً ($10\ line/cm^2$) عندما يكون الوسط هواء؟

الحــل:

$$\mu_r = \frac{B_i}{10} \quad \Rightarrow B_i = 10\mu_r = 10 \times 400 = 4000\ line/cm^2$$

الفيض الذي أنتجه ($I = 3\times10^{-3}A$) في قالب الحديد:

$$\emptyset = B_i A = 4000 \times 5 = 20000\ line$$

$$\emptyset = 2 \times 10^{-4}\ wb$$

لمــــــــاذا؟

$$L = \frac{N\emptyset}{I} = \frac{150 \times 2 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-3}} = 10H$$

24.7 المحولات *Trans formers*

1.24.7 مبدأ التشغيل *Principle of operation*

يحول المحول القدرة (*power*) بالتيار المتردد A.C عند جهد ما (*one voltage*) بدون التغير في التردد (*frequency*). وبني تشغيله على مبدأ الحث المتبادل (*Mutual induction*) والشكل (5.9) يوضح الشكل العام للمحول فهو قالب حديد (*iron core*) مصنوع من صفائح رقيقة *Laminated sheet* من السليكون الفولاذي *silicon steel*. كل صفيحة سمكها حوالي (0.35*mm*) يفصل بين الشريحة والأخرى طبقة رقيقة من الورنيش *Thin layer of varnish* أو الورق *paper* .

والغرض من هذه الشرائح هو تخفيض الفقد الناتج عن التيارات الدوامية *Eddy Current loss*.

يلف على القالب *core* ملفان أحدهما ابتدائي *primary* والأخر ثانوي *secondary*. يرتبط هذان الملفان مغناطيسياً كما سبق في دراسة الحث المتبادل و يعبر عن المحول في الدائرة الكهربائية كالآتي.

عدد لفات الابتدائي N_1 يتصل بجهد V_1، عدد لفات الثانوي N_2 يعطي جهداً V_2 إلى

الحمل *Load* المتصل به ينتج عن التيار المتردد فيض في القالب و الذي بتغيره تنتج قوتان كهربائيتان دافعتان يظهران عند نهايتي الملفين. فالقوة المستحثة *induced* التي تظهر في الملف الثانوي تكون سببا لتيار يمر خلال الحمل *Load* . و بذلك فإن القدرة و الطاقة ينتقلان من الملف الابتدائي إلى الملف الثانوي.

شكل(15.7)

2.24.7 معادلـــــــة المحول

Transformer Equation

إذا رمزنا للقوة الدافعة الكهربائية في الملف الابتدائي E_1 وفي الملف الثانوي E_2 فإن:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \dots\dots (26.7)$$

تسمى N_1/N_2 نسبة التحويل *Transformer Equation* وباختيار قيم مناسبة لكل من N_1، N_2. فإنه يمكن تحويل القدرة التي عند الجهد E_1 إلى جهد أخر E_2 ، و قد تكون N_1 أكبر أو أقل من N_2.

فإذا كانت $N_1 > N_2$ فإن $E_1 > E_2$ أو $E_2 < E_1$. وفي هذه الحالة يسمى المحول خافضاً *step down*.

أما إذا كان $N_1 < N_2$ فإن $E_1 > E_2$ أو $E_2 > E_1$. وفي هذه الحالة يسمى المحول رافعا (*step up*) و يعتبر المحمول جهازا أستاتيكيا لماذا ؟.

والفقد فيه بصورة عامة قليل و يمكن إهماله و بذلك فإن القدرة الداخلية تساوى القدرة الخارجية. يرمز للتيار I_1 في الملف الابتدائي و I_2 للملف الثانوي

$$E_1I_1 = E_2I_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

علق على العلاقة بين التيارين حسب نوع المحول خافض أم رافع (متروك للطالب).

25.7 امثلـــــــــة

مثال(8.7) ملف حلزوني ($1000t$) متوسط قطر الحلقة ($400mm$) ومساحة مقطع المادة المغناطيسية ($400mm^2$) . يمر خلاله تيار قدره ($2A$) .احسب:

أ. الحث الذاتي للملف؟

ب. القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الملف عندما ينخفض إلى الصفر في فترة زمنية مدتها ($10ms$).

الحــل:

$$L = \frac{N^2A\mu_o\mu_r}{l}$$

حيث أن الوسط هواء $\mu_r = 1$ و $N = 1000t$ و $A = 400\times10^{-6}m^2$

$\ell = 2\pi r = \pi(400\times10^{-3}) = 0.4\pi m$

$$L = \frac{(1000)^2(400\times10^{-6})(4\mu\times10^{-7})}{0.4\pi} = 0.4\ mH$$

$$e.m.f = \frac{LdI}{dt} = 0.4 \times 10^{-3}\left(\frac{2-0}{10 \times 10^{-3}}\right) = 0.08\ V$$

مثال(9.9) لف ملف ($500t$) على دائرة مغناطيسية وقتها $S=1.55 \times 10^{6}$ AT \wb

احسب الحث الذاتي للملف؟

الحـــل:

من العلاقة:

$$L = \frac{N^2 A\mu}{l}$$

ولكن:

$$S = \frac{l}{\mu A} \quad \Longrightarrow \quad \frac{1}{S} = \frac{\mu A}{l}$$

وبذلك فان:

$$L = \frac{N^2}{S} = \frac{(500)^2}{1.55 \times 10^6} = 0.16\ H$$

مثال(10.9) ملفان متماثلان (*Identical*) B وA كل منهما ($1000t$) يقع كل منهما في مستويين موازيين بحيث يقطع 80% من فيض أحدهما الأخر.

فإذا مر تياراً قدره (5A) في الملف A و أنتج فيضاً قدره (0.05*wb*) فإذا كان معدل تغير التيار في الملف A ما بين (12A *to* -12A) خلال 0.2*sec* احسب:

أ. الحث المتبادل للملف B ؟

ب. القوة *e.m.f* المستحثة في B ؟

الحــل:

$$M = \frac{N_2 \emptyset_{12}}{I_1}$$

حيث ϕ_{12} الفيض المشترك (المتبادل):

هنا $N_2 = 1000t$ و $I_1 = 5A$

$$\emptyset_{12} = 0.05 \times 10^{-3} \left(\frac{80}{100}\right) = 0.4 \times 10^{-4}\ wb$$

بعد التعويض:

$$M = 0.008\ H$$

أما القوة الدافعة المستحثة في الملف B :

$$e.m.f(B) = M \frac{dI_1}{dt}$$

$$dI_1 = 12 - (-12) = 24\ A$$

$$dt = 0.02\ sec$$

بعد التعويض:

$$e.m.f\,(B) = 9.6\ V$$

مثال(11.9) صمم قالب هوائي (*air cored*) بحيث يكون حثه الذاتي (20H) وعندما يتم تشغيله يعطي فيضا كثافته ($B = 1 wb/m^2$) ومتوسط مسار الفيض (22*cm*) خلال الحديد الذي نفاذيته النسبية (4000) وأما المسار خلال الفتحة

الهوائية (*air gap*) يساوي (1*mm*) ومساحة مقطع الدائرة ($10cm^2$) احسب عدد اللفات اللازمة N ؟

الحــل:

تستخدم العلاقة في التمرين السابق $L = N^2/S_T$

حيث S_T المعاوقة الكلية= (معاوقة الحديد + معاوقة الهواء):

$$S_{air} = \frac{l_{air}}{A\mu_o} = \frac{0.001}{10^{-4}(4\pi \times 10^{-7})}\ AT/wb$$

$$S_{Iron} = \frac{l_{Iron}}{A\mu_o\mu_r} = \frac{0.22}{(10 \times 10^{-4})(4000)(4\pi \times 10^{-7})}\frac{AT}{wb}$$

$$S_T = S_{air} + S_{iron} = 839541\ AT/wb$$

$$N = \sqrt{LS_T} = 4097\ t$$

مثال(12.9) ساق حديد طوله (50*cm*) وقطره (1*cm*) تم تشكيله على هيئة حلقة مغلقة ولف عليها بانتظام (400*t*) من السلك مر في السلك تيار (5A) بحيث أنتج فيضا كثافته ($B = 0.75\ wb \backslash m^2$) فإذا قطع الفيض كل لفة من اللفات الموجودة على الحلقة احسب:

أ. النفاذية النسبية للحديد؟

ب. الحث الذاتي للملف L؟

e.m.f المتوسطة عندما يحدث التقطع في التيار انخفاضا في فيض الحديد لمقدار 20% من الفيض الأصلي خلال (0.01*sec*) .

الحــل:

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{400 \times 0.5}{0.5} = 400 \ AT/m$$

$$\emptyset = BA = 0.75\left(\frac{\pi}{4}\right)(10^{-4}) = 0.589 \times 10^{-4} \ wb$$

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_o H} = \frac{0.75}{4\pi \times 10^{-7}(400)} = 1492$$

$$L = \frac{N\emptyset}{I} = 400 \frac{(0.589 \times 10^{-4})}{0.5} = 0.0471 \ H$$

التغيير في الفيض يساوي 80% من الفيض الأصلي:

$$d\phi = 0.8 \times 0.589 \times 10^{-4} \ wb = 0.47 \times 10^{-4} \ wb$$

$$e.m.f = \frac{Nd\emptyset}{dt} = 400\left(\frac{0.47 \times 10^{-4}}{0.01}\right) = 1.88 \ V$$

مثال(13.9) الملف الابتدائي لمحول وحيد الطور (*single phase*) يتصل المصدر (230*V*) وعدد لفاته (500*t*) لفة وعدد لفات الثانوي (1500*t*) لفة احسب القوة المستحته في الملف الثانوي؟

الحــل:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$E_2N_1 = E_1N_2$$

القوة في الملف الثانوي.

26.7 مســـائل

1.7 دائرة مغناطيسية تتكون من قالب هوائي (*air cored choke*) حثه ذاتي (L= 20H) عند تشغيله بفيض كثافته ($B = 1wb/m^2$) من قالب الحديد (iron core) نفاذيته النسبية (μ_r=4000) احسب عدد اللفات للدائرة إذا كان متوسط مسار الفيض للحديد (ℓ_{iron} = 22cm) ومتوسط مسار الفيض للهواء (ℓ_{air}=1mm) ؟

الجواب (4097لفة)

2.7 احسب الحث لدائرة طولها 40cm ومساحة مقطعها 4cm^2 وعدداللفات500؟

(الجواب0.267هنري)

3.7 احسب الحث الذاتي لدائرة نفاذية مادتها النسبية 400 وقطرها 1cm وطولها 4cm^2 وعدد لفاتها 100؟

الجواب (9078 مللي هنري)

4.7 مامقدار الفيض الناتج في ملف عدد لفاته 1000 لفة ذو قالب هوائي ويمر فيه تيار 2.5A إذا كان حثه الذاتي 0.6H ؟

الجواب (1.5mwb)

5.7 ملف ذو (2000t) لف بانتظام على حلقة من مادة (*ebonite*) متوسط قطرها (320mm) ومساحة مقطعها (400mm^2) مامقدار الحث الذاتي L (علما بان مادة *ebonite* غير مغناطيسية)؟

الجواب (2mH)

6.7 ملف حثه الذاتي ($10\ H$) إذا تناقص فيه التيار من ($10\ mA$) إلى الصفر خلال ($1msec$) مامقدار ($e.m.f$) بين طرفيه؟

الجواب($100V$)

7.7 ملف ($750t$) يحمل تياراً ($200mA$) أنتج التيار فيضاً قدره ($1200\mu wb$) احسب الحث الذاتي للملف؟وإذا عكس التيار اتجاهه خلال ($0.01sec$) احسب ($e.m.f$) المستحثه؟

الجواب ($4.5H$)

8.7 احسب الحث الذاتي لملف حلزوني ($2000t$) لف بانتظام على أنبوب اسطواني ورقي طوله ($50cm$) وقطره ($4cm$).الوسط هواء؟

الجواب($12.62m\ H$)

9.7 حلقة حديد دائرية قطرها ($100mm$) ومساحة مقطعها ($500mm^2$) لف على محيطها سلك بانتظام ($200t$) احسب الحث الذاتي إذا كانت $\mu_r = 1200$ ؟

الجواب($96mH$)

10.7 ملف حثه ($L= 6H$) عندما كان عدد لفاته ($40\ t$) كم يصبح حثه عندما تضاف إليه ($10t$) ؟

الجواب($9.378H$)

11.7 ($e.m.f$) المستحثه في ملف ($100V$) عندما يمر فيه تيار بتغيير من ($1A\,to\,10A$) خلال ($0.1\ sec$) احسب الحث الذاتي للملف؟

الجواب ($1.11H$)

12.7 مولد للتيار المستمر ذو6 أقطاب ($500V$ D.C) يمر فيه تيار ($10A$) أنتج فيضاً لكل قطب ($50mwb/pole$) ولكل قطب ($600t$).مقاومة مرور التيار الداخلية (50Ω) .فإذا قطع مجال الدائرة في خلال ($0.02sec$) احسب:

أ. الحث الذاتي للملفات؟

ب. *e.m.f* المستحته؟

جـ. قيمة مقاومة التفريغ بحيث لا تزيد *e.m.f* عن $1000V$؟

الجواب($18H,1500V,50\Omega$)

13.7 محاث 10 لفات على قالب هوائي لملف طوله $100cm$ وقطره ($0.5cm$) ؟

الجواب($0.245\mu H$)

14.7 يرتبط ملفان مغناطيسيان حثهما الذاتي $L_1=100mH$ و$L_2= 400mH$ فإذا كان معامل الربط $K= 0.8$ احسب الحث المتبادل بينهما M وما مقدار الحث المتبادل عند القيمة القصوى ($K=1$) ؟

15.7 إذا كان معامل الربط بين ملفين 0.6 أو60% وينتج الملف المثار *excited coil* فيضا ($0.1wb$) ما مقدارالفيض الذي يقطع الملف الأخر؟

16.7 معامل الربط بين الملفين الابتدائي والثانوي لمحول قالبه هواء ($K=0.05$) ومعامل الحث للملفين $8mH$ و$12mH$ ويمر في ملف الابتدائي تيار لكل ثانية ($600A/sec$) ما مقدار الجهد المستحث في الملف الثانوي؟

17.7 ملفان عدد لفاتهما (150و 200) لفه متجاورين (*wounded side by side*)

على دائرة حديد مغلقة مساحة مقطعها ($150\ cm^2$) ومتوسط طولها ($300cm$) احسب الحث المتبادل بين الملفين والقوة المستحثه في الملف الثاني إذا كان التيار يتغير في الملف الأول من الصفر إلى 10A لمدة $0.02sec$ وان النفاذية النسبية للحديد (2000) ؟

18.7 الحث الذاتي لملف عدد لفاته (500) هو (L=0.25H) فإذا كان 60% من الفيض يقطع (*Linked*) ملفا أخرعدد لفاته 1000.احسب الحث المتبادل بين الملفين؟

19.7 محول الحث الذاتي لملفيه $L_1=6H$ و $L_2=0.06H$ ومعامل الربط بينهما (K=0.9) اوجد القوة الدافقة *e.m.f* لكل من الملفين عندما يمر تيار في الملف الابتدائي متغيرا بمقدار (1000A/*sec*) ؟

الجواب (6000V,540V)

20.7 ملف حلزوني هوائي طوله ($30cm$) مساحة مقطعه ($25cm^2$) عدد لفاته ($500t$) يحمل تياراً (2.5A) قطع التيار فجأة إلى الصفر خلال ($10^{-4}sec$) ما مقدار *e.m.f* بين طرفي الملف؟

الجواب (6.5V)

21.7 احسب الحث الذاتي L والطاقة المخزنة في مجال المغناطيسي لملف حلزوني هوائي طوله ($50cm$) وقطره ($5cm$) وعدد لفاته (1000) يحمل تياراً (5A)؟

الجواب (0.005H, 0.0625J)

22.7 يمر تيار ($20mA$) خلال ملف حثه الذاتي ($L=500mH$) احسب الطاقة المغناطيسية المخزنة. وإذا نصف التيار احسب الطاقة المخزنة عند هذه الحالة الطاقة المغناطيسية المتحررة التي ترجع إلى الدائرة ؟

الجواب($100\times10^{-6}J, 25\times10^{-6}J, 75\times10^{-6}$)

23.7 ملفان A وB متجاوران عدد لفاتهما 500 و300 ، فإذا مر تيار (3A) في A فانه ينتج ($0.6mwb$) أما إذا مر نفس التيار في B سينتج فيضا ($0.9mwb$) فإذا قطع 45% من فيض A الملف B احسب L_1 ، L_2 ، M ثم K؟

24.7 ملفان A وB في دائرة مغناطيسية عدد لفات كل منهما 600 و500 على الترتيب يمر في الملف A تيارا 8A فأنتج فيضا مقداره $0.04wb$. فإذا كان معامل الربط

$k = 0.2$. احسب:

أ. معامل حث A عند B دائرة مفتوحة؟

ب. الفيض الذي يتصل بالملف B ؟

جـ. القوة المستحثة في B عندما يتغيير الفيض من الصفر إلى قيمته القصوي خلال 0.02 ثانية؟

د. الحث المتبادل M ؟

هـ. القوة الدافعة في الملف B عندما يتغير التيار في الملف A من 0 إلى 8A خلال 0.05 ثانية؟

الجواب ($3H, 0.008wb, 200V, 0.5H, 80V$)

الفصل الثامن

1.8 تعريف الموجة.

2.8 خواص الأمواج الدوريـــة.

3.8 خواص الأمواج.

1.3.8 الانعكاس.

2.3.8 الانكسار.

3.3.8 التداخـــــل.

4.3.8 الحيود.

4.8 انتقال الموجـــــة في بُعد واحد.

1.4.8 الموجـــة التوافقية.

2.4.8 سرعة الجسيمات المستعرضة.

5.8 تمرينـــــــات.

6.8 أسئـــة.

7.8 الأمواج الكهرومغناطيسية.

1.7.8 الطيف الكهرومغناطيسي.

8.8 أمثلــــة.

1.8 تعريف الموجة

تُعرَّف الموجة بأنها الاضطراب *disturbance* الّذي ينتشر (لنقل الطاقة) من نقطة إلى نقاط أخرى بدون أن تحصل إزاحة في جزيئات الوسط *medium* . تحمل الموجة الطاقة وكمية الحركة ولكن دون أن تنقل المادة . وتكون على شكل نبضات قصيرة أو اضطراب متواصل . وإذا كانت الموجات تظهر بشكل متكرر *Repetitive fashion* تسمى دورية *Periodic* الشكل (1.8)

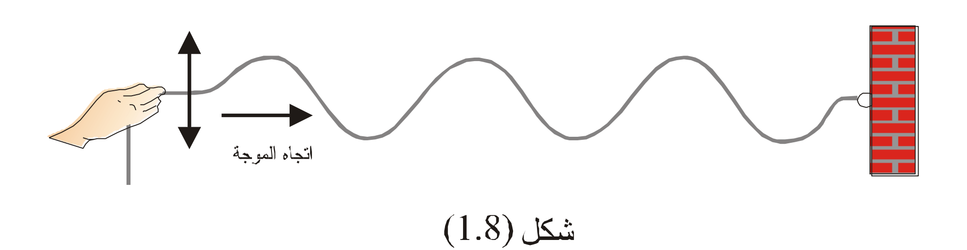
والأنواع الرئيسية للأمواج هي :

1. الأمواج الميكانيكية *Mechanical waves* مثل الصوت،الزلازل (*earthquake*) وهى تنتقل خلال الوسط المادي فقط (صلب، سائل، غاز).

2. الأمواج الكهرومغناطيسية *Electromagnetic waves* (لا يحتاج لوسط مادي) مثل الضوء وأشعة X.

3. الأموأج المادية *matter* (مثل الإلكترون والبروتون .....الخ).

وتحتاج الأمواج الميكانيكية إلى مصدر اهتزاز *Vibrating source* (مثل البندول و الشوكة الرنانة) ،حيث يضطرب الوسط و ينتقل تأثير الاضطراب إلى المواضع المجاورة داخل الوسط وبالتالي للمواضع التي تليها وهكذا...........



شكل (1.8)

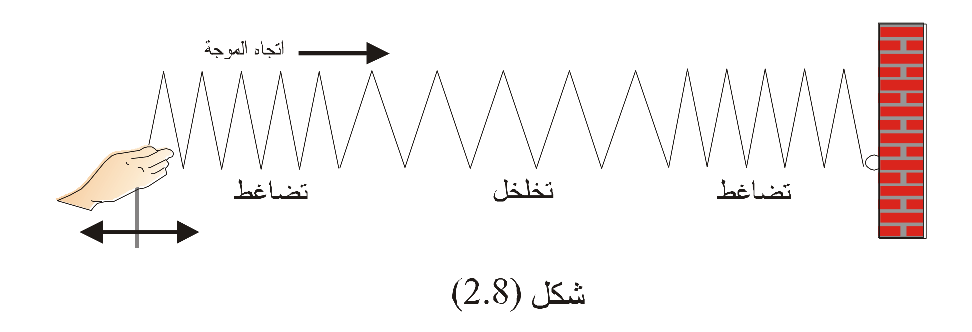
وتنقسم الأمواج من حيث حركتها مع جزئيات مادة الوسط إلى:

أ. الأمواج المستعرضة *Transverse waves*

تُزاح في هذه الحركة الجسيمات المُهتزَّة في الوسط عمودياً على اتجاه حركة الموجة مثل الأمواج خلال سلك مهتز *Vibrating spring* وأمواج الضوء.

ب. الأمواج الطولية *Longitudinal wave*

في الموجة الطولية تُزاح جزئيات مادة الوسط المُهتزة موازيةً لاتجاه انتشار الموجة (الطاقة) مثل موجات الصوت شكل (2.8).



شكل (2.8)

ج. أمواج تحتوي النوعين *Combination*

مثل أمواج الزلازل وأمواج الماء.

2.8 خواص الأمواج الدوريـــة:

الحركة الدورية هي حركة دائرية حيث يعود خلالها الجسم إلى وضعه الأول بنفس الإتجاه وفي فترات زمنية متساوية ومن أنواعها الحركة الإهتزازية حيث تنعكس خلالها حركة الجسم المتحرك في فترات زمنية متساوية منتظمة كحركة البندول البسيط، أو الحركة المستقيمة مثل حركة الجسم المهتز المعلق بنابض عمودي ،أو حركة الشوكة

الرنانة.

بعض المصطلحات في الحركة الدورية:

أ. الزمن الدوري T *periodic time*: هو الزمن اللازم لهزة كاملة *complete oscillation* ووحدة قياسه ثانية *S* .

ب. التردد *f frequency*: هو عدد الموجات التي تمر بنقطة ما في زمن قدره ثانية واحدة، ووحدة قياسه (*Hertz*) *Hz*.ويساوي ذبذبة \ الثانية.

ويعبر عن التردد الزاوي (*w*)*angular frequency* أو السرعة الزاوية بالعلاقة:

$$w = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \dots\dots (1.8)$$

حيث W التردد الزاوي، T الزمن الدوري ،و f التردد.

وعند الحركة حول مسار دائري فإن:

$$w = \frac{d\theta}{dt} \quad \dots\dots (2.8)$$

حيث θ الزاوية ، وإذا كان *R* نصف قطر المسار الدائري فإن السرعة الخطية يمكن تعيينها من العلاقة:

$$v = wR \quad \dots\dots (3.8)$$

ووحدة قياس التردد الزاوي *rad/s*

ج. طول الموجة λ *wavelength*: هو المسافة بين قمتين أو قاعين متجاورين في الموجة *distance between adjacent wave crests or troughs*

(أو هو المسافة بين نقطتين متتاليتين تتحركان بنفس الطور يعني نقطتان متقابلتان

على الموجة) شكل(3.8).

،ووحدة قياسه *m*. وبدلالة الطول الموجي نعرف العدد الموجي:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \ldots\ldots (4.8)$$

وحدة قياس العدد الموجي *rad/m*

هـ. سرعة الموجة *v* ***wave speed (phase)***:هي المعدل الذي عنده قمم وقيعان الموجة تنتقل في اتجاه انتشار الموجة ووحدة قياسها *m/s*. والعلاقة بين سرعة الموجة والتردد وطول الموجة:

$$v = \lambda f \quad \ldots\ldots (5.8)$$

حيث *f* التردد يساوي مقلوب الزمن الدوري:

$$f = \frac{1}{T} \quad \ldots\ldots (6.8)$$

د. السعة A *Amplitude*:

سعة الموجة A هي أقصى إزاحة *maximum displacement* لجزئيات مادة الوسط تمر بها الموجة عند موضع الاتزان *Equilibrium position* يعني على الجانب غير المضطرب *undisturbed position* شكل(3.8).

شكل(3.8)

3.8 خواص الأمواج

1.3.8 الانعكاس *Reflection*

هو ارتداد الموجات الساقطة *Incident* على حاجز فتسير في الوسط نفسه وباتجاه مختلف ويعتمد اتجاه انتشار الموجة المنعكسة على الزاوية بين اتجاه حركة الموجات الساقطة والعمودي على السطح الحاجز والتي تعرف بزاوية السقوط *incidence angle* حيث زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

2.3.8 الانكسار *Refraction*

هو اختلاف سرعة الموجات عند انتقالها من وسط إلى آخر بسبب التغير في اتجاه حركة الموجات.

قانون الانكسار

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta r \quad \dots \dots (7.8)$$

حيث n_1 معامل الانكسار المطلق للوسط الأول (*Refractive index*) *Absolute* وهو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في الوسط المادي.

n_2 معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني.

θ_i زاوية السقوط.

θ_r زاوية الانكسار.

معامل الانكسار النسبي بين وسطين *Relative Refractive index*

$$n_{12} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{u_1}{u_2} \quad \dots \dots (8.8)$$

حيث:

n_{12} معامل الانكسار النسبي بين الوسطين.

u_1 سرعة الموجة في الوسط الأول.

u_2 سرعة الموجة في الوسط الثاني.

3.3.10 التداخـــــل *Interference*

تعبر الأمواج بعضها بعضا دون أن تؤثر في خصائصها حيث يمكن سماع صوت المتكلم بالرغم من وجود أصوات أخرى تتقاطع مع موجات صوته . فالتداخل تأثير مشترك بين موجتين أو أكثر في نفس الوسط فإذا انتقلت موجتان مستعرضتان مختلفتان في السعة والتردد في وتر مشدود في وقت واحد فان إزاحة أي نقطة من نقاط الـــوتر تساوي المجموع الجبري للإزاحتين بمعنى أن الموجات تعبر خـــلال بعضـــها دون أن تتأثر وعندما تلتقي الموجات تكون الإزاحة الكمية هي المجموع الإتجاهى للإزاحـــات المختلفة الناتجة من كل موجة كل على انفراد عند تلك النقطة.

أنواع التداخل:

أ. التداخل البناء *Constructive Interferes*

إذا كانت الموجتان المستعرضتان متساويتين في التردد والطور (الموضع والاتجاه) وتنتشران في اتجاه واحد فان الموجة الناتجة من تداخلهما سوف تنتشر بنفس الاتجاه ويكون لها نفس التردد وسعتها تساوي مجموع سعتي الموجتين.

ب. التداخل الهدام غير الكامل إضعاف *Incomplete destructive*

إذا كانت الموجتان المستعرضتان متساويتين في التردد وفي اتجاه واحد وكان فرق

الطور بينهما نصف موجة ($\lambda/_2$) ولكن سعتيهما مختلفتان فان المحصلة تكون تداخل إضعاف يعني عند تلاقي قمة موجة مع قمة أخرى أو قاع مع قاع يكون تداخل بناء وعند تلاقي قمة موجة مع قاع أخرى أو قاع موجة مع قمة أخرى يكون التداخل هداما.

جـ. التداخل كامل الهدام *Complete destructive*

إذا كانت الموجتان المستعرضتان متساويتين في التردد وتسيران في اتجاه واحد وفرق الطور بينهما نصف موجة $\lambda/2$ فان الإزاحة التي تحدثها إحدى الموجتين في أي نقطة في الوسط ستكون بعكس اتجاه الإزاحة التي تحدثها الموجة الثانية وإذا تساوت الموجتان المتداخلتان في سعة الاهتزاز سيكون التداخل هدم كامل.

4.3.8 الحيود *Diffraction*

الحيود هي ظاهرة انتشار الأمواج في المنطقة التي خلف العائق تسبب مرورها من خلال شق *slit* أو جسم ذي حافة حادة بمعنى انحراف الأمواج عن مسارها الأصلي ويحدث ذلك في جميع الأمواج ويبدو واضحا في أمواج الماء والصوت وأقل وضوحا في أموج الضوء وذلك لأن هذه الأمواج قصيرة بالنسبة لإبعاد الأجسام التي تعترضها.

مثال(1.8) من مولِّد للأمواج التوافقية *harmonic waves* عبر حبل *rope* حدثت 60 ذبذبة كاملة خلال30 ثانية وانتقلت إحدى القمم مسافة $400cm$ خلال $10s$ على امتداد الحبل . احسب التردد؟ سرعة الموجة؟ و الطول الموجي؟

الحــل:

التردد = عدد الذبذبات الكلية \ الزمن الكلي:

$$f = \frac{60}{30} = 2Hz$$

السرعة = الطول الكلي للحبل \ زمن انتقال الموجة:

$$v = \frac{4m}{10s} = 0.4\ m/s$$

الطول الموجي = السرعـــة \ التردد:

مثـــــال(2.8) خلال سلك مهتز تنتقل موجة مسافة 45 cm في زمن 3 s فإذا كانت المسافة بين قمتين 3 cm . ما تردد السلك المهتز الذي يحدث هذه الموجة ؟

الحــل:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{0.45}{3} = 0.15\ m/s$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{0.15}{0.03} = 5\ Hz$$

4.8 انتقال الموجـــــة في بُعد واحد *One dimensional traveling wave*

رياضيًّا الإزاحة (أو دالة الموجة) لموجة تنتقل بسرعة v تمثل بالعلاقة:

$$y(x,t) = f(x \pm vt)$$

حيث الإشارة السالبة (−) تصف انتقال الموجة في الاتجاه الموجب يعني نحو اليمين أما الإشارة (+) تصف انتقال الموجة نحو الاتجاه السالب يعني نحو اليسار ويقال على الموجة بأنها مستقرة *stationary* إذا كانت مستقلة على الزمن *time independent* والمقدار

$u = x \pm vt$

يسمّى طور الموجة *phase of the wave* .

1.4.8 الموجـــة التوافقية *Harmonic wave*

عادةً ما يكون لها الشكل الجيبي *sinusoidal* وتكون إزاحة الجسيمات $y(x,t)$ تحت تاثير الحركة التوافقية وتأخذ الشكل العام حسب المعادلة التالية:

$$y(x,t) = A\sin(kx \pm wt - \emptyset) \quad \dots\dots (9.8)$$

حيث $y(x,t)$ الإزاحـــــة *displacement*.

k العدد الموجي الزاوي *angular wave number* .

ω التردد الزاوي *angular frequency*.

ϕ ثابت الطور *phase constant*

أما الجزء $(kx \pm \omega t)$ يسمى الطور *phase* والجزء المهتز هو $\sin(kx \pm \omega t - \phi)$

حيث ثابت الطور يقاس بالتقدير النصف قطري *radian* ومن العلاقة:

$$(kx \pm \omega t - \phi) = constant$$

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{w}{k} \quad \dots\dots (10.8)$$

2.4.8 سرعة الجسيمات المستعرضة *Transverse particles velocity*

في الحركة الموجية المستعرضة تهتز الجسيمات بأتجاه عمودي على إتجاه إنتشار الحركة الموجية كما في الأمواج التي نشاهدها على سطح الماء ،ويتم وصف سرعتها بالمعادلة التالية:

$$u(x,t) = v_y(x,t) = \frac{dy(x,t)}{dt} = \pm A\omega \cos(kx \pm \omega t) \quad \dots (11.8)$$

وتكون سرعة الجسيمات قصوى عند القيمة المطلقة $u_{max} = \omega A$

5.8 تمرينـــــــــات

1. اثبت أن:

$$y(x,t) = A\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x \pm vt) - \emptyset\right]$$

$$= A\sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} \pm ft\right) - \emptyset\right]$$

2. موجـــة مستعرضة توافقية تمر في سلك يعبر عنها بالعلاقة:

$$y(x,t)=3\sin(0.3x-8t-\varphi)$$

حيث x , y بالأمتار و t بالثواني فإذا كان لنقطة على السلك إزاحة موضعية $y(0,0) = 3m$ احسب ثابت الطور؟

3. من المعادلة الموجية الآتيـــة:

$$y(x,t) = 0.2sin(o.1x+120t+0.4)$$

احسب كل من: السعة؟ – الطول الموجي؟ – التردد؟– السرعة؟ – السرعة القصوى؟ ؟(x ,y *in cm and* t *in seconds*)

مساعدة للحـــــل مقارنة بالتعبير العام عن معادلة الموجة نجد أن $A=0.002\ m$, وان $k = 0.1m$ ومن هذه العلاقة $\lambda = 0.63m$ وأن $\omega = 120$ وبذلك يكون التردد $f = 19.10\ Hz$ ومن هنا تكون السرعة $v = \lambda f = 12m/s$ السرعة القصوى $v_{ymax} = 0.24m/s$

6.8 أسئلـــة

1.8 تتحرك موجة جيبية مستعرضة خلال سلك ويستغرق جسيم على السلك ليتحرك من الإزاحة القصوى إلى الصفر مدة $0.177s$ ما تردد المصدر؟

$23.3Hz$	$1.47Hz$	$2.94Hz$	$5.88Hz$	$8.96Hz$

2.8 يُعبر عن موجة جيبية بالعلاقة $y(x,t) = 0.1sin\ [10\pi(x/5+t-3/2)]$ الوحدات بالنظام SI ما مقدار التردد وسرعة الموجة ؟

$f=5Hz$ $v=5m/s$ *-x-direction*	$f=2Hz$ $v=2m/s$ *-x-direction*	$f=2Hz$ $v=1m/s$ *-x-direction*	$f=5Hz$ $v=5m/s$ *x-direction*	$f=5Hz$ $v=1m/s$ *x- direction*

3.8 موجة جيبية يعبر عنها بالمعادلة $y(x,t)=2sin(5x+15t)$ الوحدات SI ما المسافة التي تقطعها الموجة خلال $15s$؟

$90m$	$15m$	$55m$	$5m$	$45m$

4.8 موجات محيط بطول موجي $12m$ قادمةً بمعدل 20 قمة في الدقيقة الواحدة فإن سرعتها :

$4m/s$	$24m/s$	$6m/s$	$8m/s$	$30m/s$

5.8 موجة جيبية تتحرك في الاتجاه الموجب x سعتها $10cm$ وطولها الموجي $20cm$

وترددها $5Hz$. يوجد جسيم على الموجة إزاحته $y(0,0)=10cm$ أكتب معادلة إزاحة الجسيمات كدالة في (x,t)؟

6.8 موجة توافقية طبقا للعلاقة $y(x,t) = 0.2sin(25x-10t)$ بالوحدات SI ما المسافة التي تقطعها قمة الموجة في $20s$؟

$20m$	$5m$	$8m$	$50m$	$10m$

7.8 موجة جيبية تنتقل في الاتجاه السالب x سعتها $10cm$ وطولها الموجي $20cm$ وترددها $8Hz$ أكتب تعبيراً عن $y(x)$ بوحدات SI إذا كانت $y(0,0)=10cm$؟

7.8 الأمواج الكهرومغناطيسية *Electromagnetic Waves*

يتم انتقال الموجة في هذه الحالة على شكل مجالين متلازمين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي متعامدين على بعضهما البعض وكل منهما عمودي على اتجاه انتشار الموجة التي تنتقل عبر الفراغ وعبر الأوساط المختلفة ويشترك في نقل الموجة للطاقة كلا المجالين وتعتمد الموجة في تعاملها مع الوسط على صفاته الكهربائية والمغناطيسية ولاتحتاج إلى وسط مادي وتنتقل في الفراغ بسرعة واحدة $(C=3\times10^8 m/s)$.

1.7.8 الطيف الكهرومغناطيسي *Electromagnetic Spectrum*

بالإضافة إلى الضوء المرئي يشمل الطيف الكهرومغناطيسي موجات ألبث الإذاعي (*Broad casting*) وتحت الحمراء (*Infra Red*) والسينية (*x- ray*) وأشعة جاما (*γ–ray*) والليزر والميزر و فوق البنفسجية (UV).

ويعبر عن الطيف الكهرومغناطيسي بدلالة طول الموجة أو التردد مثلا عند الطرف القصير من الموجي تقع (*x-ray*) يكون التردد عاليا وكذلك الطاقة وبذلك يكون تأثيرها مؤثراً وضاراً وكلما قل الطول الموجى مثل أشعة γ فان التأثير يكون أشد.

أما الطرف الطويل للإشعاع (الطيف) الكهرومغناطيسي يكون التردد منخفضا وبالتالي الطاقة كذلك مثل موجات (*micro wave*) الميكروبية والرادوية والموجات الطويلة وهذه العلاقة العكسية بين التردد وطول الموجة يمكن ادراكها من العلاقة:

$$C = \lambda f \quad \ldots \ldots (12.8)$$

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \ldots \ldots (13.8)$$

حيث: C سرعة الضوء في الفراغ و قيمتها ثابتة ($C = 3\times10^{8} m/s$).

نوع الإشعاع	مدى الطول الموجي
أشعة جاما *γ–ray*	$\lambda < 0.01nm$
الأشعة السينية *x-ray*	$0.01nm < \lambda < 1nm$
فوق البنفسجية UV	$1nm < \lambda < 0.38\mu m$
الضوء المرئي*visible light*	$0.38\mu m < \lambda < 0.77\mu m$
تحت الحمراء *infra red*	$0.77\mu m < \lambda < 1mm$
الموجات الراديايوية *radio waves*	$\lambda > 1mm$

وتتعلق سرعة الموجة الكهرومغناطيسية بصفات الوسط الكهربائية والمغناطيسية بالعلاقـــــة:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon\mu}} \quad \dots \dots (14.8)$$

حيث μ النفاذية المغناطيسية للوسط *Medium Permeability* تساوى فى الهواء والفراغ $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} H/m$

ε سماحية الوسط الكهربائية *Permittivity Of Medium*

وتساوى فى الهواء للفراغ $\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} f/m$

بالتـــــــعويض:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_o\mu_o}} = 3 \times 10^8 \; m/s$$

وهي سرعـــــة الضوء في الفراغ

8.8 أمثلـــــة

مثال(3.8) مصدر ضوئي طول موجته (5.5×10^{-2} *mm*) مامقدار تردده بوحدة (*GHz*)

الحـــل:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{5.5 \times 10^{-2}}$$

مثال(4.8) عبر عن المدى بالطول ألموجي للأشعة فوق البنفسجية UV حيث:

$1mm < \lambda < 0.38\ \mu m$ بالمدى الترددي بوحدة *GHz* و *MHz* ؟

مثال(5.8) إذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر (1531*m/s*) احسب طول الموجة الصوتية في ماء البحر إذا كان ترددها 256*Hz* ؟

الحـــل:

$$\lambda = \frac{u}{f} = \frac{1531}{256}$$

مثال(6.8) شوكة رنانة *Tuning fork* ترددها 300*Hz* وضعت يقرب خزان *Tank*

أ. احسب تردد طول موجة الصوت في الماء؟

ب. احسب تردد وطول موجة الصوت في الهواء فوق الخزان بواسطة اهتزازات *Vibration* سطح الماء؟

(سرعة الصوت في الماء 1498*m/s* سرعة الصوت في الهواء 331*m/s*

الحـــل:

$$\lambda_1 = \frac{u_1}{f} = 4.99\ m$$

$$\lambda_2 = \frac{u_2}{f} = 1.10\ m$$

مثال(7.8) يدخل شعاع الضوء بركة ماء بزاوية 4^o احسب زاوية الانكسارθ_r إذا كان معامل انكسار الماء المطلق (1.33) ؟

الحـــل:

بالتعويض المباشر ستجد أن $sin\theta_r = 0.483$ وبالتالي فإن $\theta_r = 29^o$

مثال(8.8) يسقط شعاع ضوئي على سطح زجاج بزاوية (50^o) فإذا كانت زاوية الانكسار(30^o) احسب معامل انكسار الزجاج ؟

الحـــل:

$$n_2 = \frac{n_1 \sin \theta_i}{\sin \theta_r} = 1.53$$

مثال(9.8) ينتقل شعاع ضوء من الهواء على ليف بصري معامل أنكساره 1.44.

أ. في أي اتجاه ينكسر الضوء؟ ب. إذا كانت زاوية السقوط عند نهاية الليف 22^o فكم تكون زاوية الأنكسار داخله؟ ج. بين بالرسم مسار شعاع الضوء عندما يتغير عبر الوسطين؟

الحـــل:

أ. حيث أن الضوء ينتقل من وسط أقل في معامل الأنكسار إلى وسط أعلى كثافة،فإنه سينكسر مقترباً من العمودي.

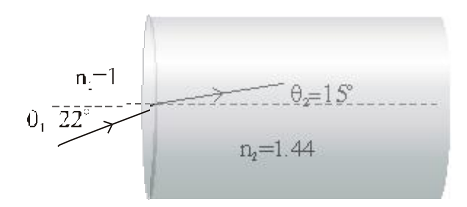
ب. بما أن معامل أنكسار الهواء $n_1=1$ ،ومعامل الأنكسار بالليف البصري $n_2=1.44$ وزاوية السقوط $\theta_1=22^o$ إذاً:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\therefore \quad \sin \theta_2 = \frac{1}{1.44} \sin 22 = 0.260$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.260) = 15^o$$

جـ. مسار الشعاع كما هو مبين بالشكل.



الفصل التاسع

1.9 مقدمــــــــة.

2.9 القيم الفعالة.

3.9 المحاثـــــة.

4.9 المكثفات والسعـــــــــــة.

1.4.9المكثف ذو اللوحين المتوازيين.

2.4.9 طاقة المكثف المشحون.

3.4.9 المعاوقة السعويـــــــة.

4.4.9 المعاوقـــــــــة.

5.9 الرنيـــــــن.

6.9 زاوية الطــــــور.

7.9 أمثــــلة.

8.9 مسائل.

دوائـــر التيار المتردد *Alternant Current Circuits A.C*

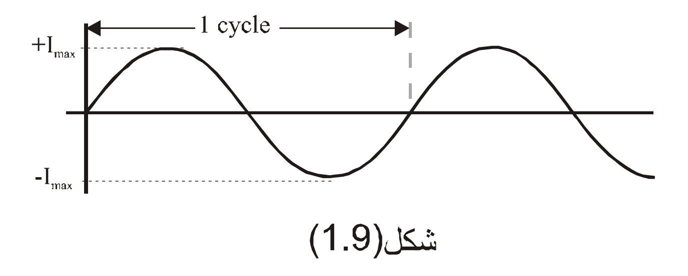
1.9 مقدمـــــــة

يعرف تردد التيار المتردد A.C بأنه عدد الدورات (*Cycles*) الكاملة في الثانية الواحدة ووحدته (*1Hz = cycle/s*) يرمز له *f* والقوة الدافعة *e.m.f* للتيار المتردد A.C التي ترددها (*f*) تتغير مع الزمن طبقا للعلاقة:

$$\varepsilon = \varepsilon_{max} \sin(2\pi ft) = \varepsilon_{max} \sin wt \quad \dots \dots (1.9)$$

وتسمى ($\omega = 2\pi f$) التردد الزاوي (*Angular frequency*) للقوة الدافقة *e.m.f* وحدتها (*radians /s*) يعني الزاوية بالتقدير نصف القطري للثانية الواحدة وبالمثل يمكن كتابة التيار المتردد A.C المتغير مع الزمن والذي أقصى قيمة له I_{max} شكل (1.9) طبقا للعلاقة:

$$I = I_{max} \sin \omega t$$



شكل(1.9)

2.9 القيم الفعالة

لأن التيار المتردد يغير قيمته $\pm I_{max}$ باستمرار فلا يمكن تعيين مقدرته على عمل شغل أو إنتاج حرارة كما هو الحال في التيار المستمر D.C وبدلاً من ذلك نستخدم التيار الفعال *effective current*:

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707\ I_{max} \quad \dots\dots (2.9)$$

وتعرف القيمة الفعالة:بانها قيمة التيار الذي عندما يسري خلال مقاومة معينة ولفترة زمنية معينة ينتج نفس المقدرة من الحرارة كالتي ينتجها التيار المتردد عندما يسري خلال نفس المقاومة ولنفس الفترة الزمنية . وكذلك يعبر عن القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية:

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_{max}}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots (3.9)$$

3.9 المحاثـــــة *Reluctance*

يقصد بالمعاوقة الحثية لملف هي مقدار مقاومته لسريان التيار المتردد خلاله نتيجـــة للقوة الدافقة المستحثة ذاتياً (*self induced*) وهي عكس تغير التيار المسبب لها ويختلف الحال عن المقاومة *resistor* حيث لا توجد قدرة متبددة (*dissipated*) في الملف النقي (*pure indicter*) .

ومحاثة الملف (معاوقة الملف) *inductive Reactance* يرمزلها X_L الذي حثه الذاتي (L) وتردد التيار المار فيه f:

Inductive reactance = $X_L = 2\pi f L \quad \dots\dots (4.9)$

ووحدة المعاوقة X_L هي الأوم (*Ohm*).

عندما يسلط فرق جهد V يتردد f على ملف (*Inductor*) الذي محاثته X_L (*reactance*) سيمر فيه تيار تردده f.

4.9 المكثفات والسعـــــــــــــة *Capacitance*

المكثف *capacitor* هو منظومة *system* لتخزين الطاقة في صورة مجال كهربائي. وهو في أبسط أشكاله عبارة عن لوحين متوازيين يفصلهما الهواء أو أي مادة عازلة أخرى. ويتناسب فرق الجهد بين لوحي المكثف طرداً مع الشحنة ، وبذلك فأن النسبة (Q/V) قيمة ثابتة لنفس المكثف وهذه تسمي السعة C:

$$C = Q/V \quad \dots \dots (5.9)$$

ووحدة قياس السعة هي فاراد (*Farad=Coulomb/Volt*) ولأن وحدة الفراد كبيرة جداً من الناحية العملية فإنه يستخدم لهذا الغرض مضاعفاته مثل الميكروفاراد والبيكوفاراد حيث($1\ microfarad=1\mu F=10^{-6}F\ ,\ 1picofarad=1PF=10^{-12}F$)

1.4.9 المكثف ذو اللوحين المتوازيين *Parallel Plate Capacitor*

المكثف المتكون من لوحين متوازيين كل منهما مساحته A ويفصل بينهما مسافة d تكون سعته:

$$C = \frac{k\varepsilon_o A}{d} \quad \dots \dots (6.9)$$

حيث ε_o سماحية الهواء أو الفراغ (*permittivity of free space or air*).
k ثابت العزل *dielectric constant* ويسمي أيضا السماحية النسبية (*relative permittivity* ε_r) حيث سماحية الوسط $\varepsilon = \varepsilon_o\varepsilon_r = k\varepsilon_o$ وتختلف k أو ε_r من مادة إلى أخرى فهي للهواء 1.006 والقيمة النموذجية للزجاج 6 وللماء 8 وكلما زادت قيمة k تزيد قيمة سعة المكثف.

2.4.9 طاقة المكثف المشحون *Energy of charged capacitor*

لغرض إنتاج مجال كهربائي في مكثف مشحون فإنه يبذل شغل لفصل الشحنات الموجبة والسالبة ، هذا الشغل يخزن كطاقة وضع في المكثف. وتكون طاقة الوضع W لمكثف سعته C وشحنته Q وفرق جهده V:

$$W = \frac{1 \times QV}{2} = \frac{1 \times CV^2}{2} = \frac{1 \times Q^2}{2C} \quad \ldots\ldots (7.9)$$

3.4.9 المعاوقة السعويـــــــة *Capacitive reactance*

المعاوقة السعوية لمكثف هي المقاومة التي تعترض التيار المتردد عند مروره في المكثف نتيجة لسعته ويرمز لسعة المكثف C ويرمز للمعاوقة السعوية X_C حيث:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad \ldots\ldots (8.9)$$

وتقاس المقاومة السعوية بالأوم أيضاً.

وقد سبق دراسة المكثفات في الفصل الرابع.

4.4.9 المعاوقــــــــة *Impedence*

المعاوقة لدائرة تيار متردد A.C والتي تحتوي على مقاومة وملف ومكثف تكافيء مقاومة دائرة التيار المستمر D.C ويرمز للمعاوقة Z حيث:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \dots \dots (9.9)$$

ووحدة قياس المعاوقة أيضاً الأوم.

5.9 الرنيــــــن *Resonance*

تكون معاوقة الدائرة أصغر ما يمكن عندما $X_L = X_C$ وبذلك $Z = R$ ويعرف تردد الرنين *Resonance frequency* بانه التردد الذي عنده $X_L=X_C$ يرمز f_o حيث:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \dots \dots (10.9)$$

6.9 زاوية الطــــــور *phase angle*

عندما تكون في الدائرة مقاومة فقط فإن كل من الجهد والتيار اللحظيين في نفس الطور أي كل منهما عند نقطة الصفر في نفس الوقت ويصلان قيمتهما القصوى عند نفس اللحظة .

عندما يكون في الدائرة ملف فقط فإن الجهد يتقدم التيار بزاوية 90^o درجة. وعندما يكون في الدائرة مكثف فقط فإن الجهد يتأخر عن التيار بزاوية 90^o درجة.

الزاوية بين الجهد والتيار تسمى زاوية الطور وفي الدائرة التي تحتوي على مقاومة ومكثف وملف تحسب من خلال ظل الزاوية شكل (2.9):

$$\tan \emptyset = \frac{(X_L - X_C)}{R} \quad \ldots\ldots (11.9)$$

إذا كانت:

$X_L > X_C$ تكون زاوية الطور موجبة ويتقدم الجهد التيار.

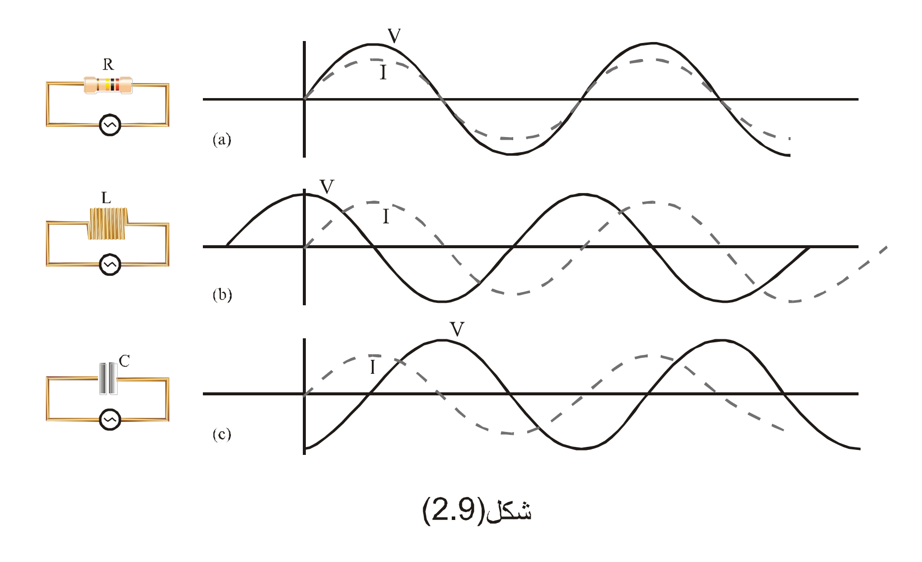
أما إذا كانت:

$X_L < X_C$ تكون زاوية الطور سالبة ويتأخر الجهد عن التيار.

ويمكن حساب زاوية الطور بجيب تمام الزاوية أيضاً:

$$\cos \emptyset = \frac{R}{Z} \quad \ldots\ldots (12.9)$$

ويسمى معامل القدرة.



شكل(2.9)

ويمكن تلخيص ما سبق في الجدول التالي:

عناصر الدائرة الكهربائية	المعاوقة Z	زاوية الطور ϕ
مقاومة	R	0^o
مكثف	X_C	-90^o
ملف	X_L	90^o
مقاومة +مكثف	$\sqrt{R^2 + X_C^2}$	سالبة بين -90^o و 0^o
مقاومة +ملف	$\sqrt{R^2 + X_L^2}$	موجبة بين 0^o و 90^0
مقاومة + ملف + مكثف	$\sqrt{\boldsymbol{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$	سالبة إذا كان $X_C>X_L$ وموجبة إذا كان $X_C<X_L$

7.9 أمثـــــلة

مثال(1.9) مولد جهدا متردد حسب المعادلة:

$$V=200\sin \omega t$$

أوجد قيمة التيار الفعال عندما يوصل المولد بمقاومة قدرها (100Ω)

الحــل:

قيمة الجهد الفعالة:

$$V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 200 \times 0.707 = 141.4V$$

القيمة الفعالة للتيار بالتعويض تحصل على النتيجة $I_{eff} = 1.414A$

مثال(2.9) يتصل ملف حثه الذاتي (25mH) بمصدر متردد:

$$V=V_{max} \sin \omega t$$

القيمة الفعالة للجهد (150V) احسب المعاوقة للملف والقيمة الفعالة للتيار ثم اكتب معادلة (القيمة الفعالة للتيار) المعبرة عن التيار؟

الحــل:

$$X_L = 2\pi f L = 9.42\Omega$$

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{X_L} = 15.9\ A$$

$$= \sqrt{2}(15.9\ A)sin(120\pi t)$$

$$I = \sqrt{2}I_{eff}f\ sin(2\pi\ ft)$$

مثال(3.9) حل المسألة السابقة لحساب X_L و I_{eff} إذا كان $f = 60\ kHz$ (متروك للطالب)

مثال(4.9) وصل مكثف ($8\mu F$) بمولد تردده ($60Hz$) وجهده الفعال (150V) إحسب معاوقة المكثف X_L والتيار الفعال I_{eff} ؟

الحــل:

$$X_C = \frac{1}{wC} = 332\Omega$$

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{x_c} = 0.452\ A$$

كيف؟؟

مثال(5.9) موصل مجهول المقاومة والحث الذاتي يسحب تيار 4A عندما يوصل بمصدر مستمر 12V ولكن عندما يوصل بمصدر متردد (12V, 100Hz) يسحب تياراً قدره 3A.

أ. إحسب R وL؟

ب. ما الطاقة المستهلكة عندما يوصل بالمصدر المستمر وكذلك المتردد؟

الحــل:

أ. في حالة التيار المستمر لا توجد محاثة للمصدر وبذلك تكون المقاومة من خلال قانون أوم R=3Ω وعند تردد f =100Hz تكون المعاوقة الكلية Z وهي المقاومة ومعاوقة الملف معا ولا يوجد مكثف في هذه الحالة 12/3=4Ω:

$$X_L = \sqrt{16 - 9} = 2.65\ \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{2.65}{2\pi \times 100} = 4.22\ mH$$

ب. تحسب القدرة في كلا الحالتين من العلاقة:

$$P = I^2R$$

ونحصل على النتيجة 48W و 27W

مثال(6.9) هوائي استقبال مسموع ($R=5\Omega, L=5mH, C=5\mu F$) تم تعديله لاستقبال محطة إذاعية:

أ. احسب تردد هذه المحطة؟

ب. إذا كان فرق الجهد المسلط على الدائرة $5\times10^{-4}V$ احسب التيار الذي يمر خلالها؟

الحــل:

أ. جهاز الاستقبال يستقبل المحطات الإذاعية عند تردد الرنين f_o بالرجوع للفقرات السابقة والتعويض المباشر نحصل على $f_o=1006kHz$ (على الطالب التأكد بنفسه)

ب. عند الرنين $X_L=X_C$ و $Z=R$ من قانون أوم يمكن الحصول على $I = 0.1mA$

8.9 مسائل

1.9 مقاومة،ملف،مكثف (RLC) قيم كل منها على الترتيب ($80\Omega, 0.3H, 50\mu F$) وصلت على التوالي بمصدر قدرة ($120V, 60Hz$):

أ. ما مقدار معاوقة الدائرة؟

ب. ما مقدار التيار في الدائرة؟

جـ. ما معامل القدرة؟

الجواب ($100\Omega, 1.2A, 0.8$)

2.9 دائرة على التوالي ($R=20\Omega, X_L=10\ \Omega, X_C=25\ \Omega$) عند تردد $400Hz$.

أ. أوجد معاوقة الدائرة؟

ب. أوجد زاوية الطور؟

جـ. هل تردد الرنين أكبر أو أقل من $400Hz$ ؟

د. أوجد تردد الرنين؟

الجواب($25\Omega,-37^o,629Hz$) الفقرة جـ متروك للطالب بالشرح

3.9 موصل(مقاومة وملف) ($R=20\Omega,L=5mH$) وصل بمصدر قدرة ($28V,400Hz$)

أ.احسب التيار في الموصل؟

ب. القدرة المستهلكة فيه؟

جـ. زاوية الطور؟

الجواب ($1.18A, 28W, 32^o$)

4.9 مكثف $10\mu F$ يتصل بمصدر قدرة ($15V,5kHz$) أوجد:

أ. معاوقة المكثف؟

ب. التيار الذي يمر خلاله؟

الجواب ($3.18\Omega,4.72A$)

الملاحق

1. ملحق(1) وحدات القياس.

2. ملحق(2) العلاقات الرياضية.

3. ملحق(3) الإختبارات.

4. ملحق(4) معجم المصطلحات.

5. ملحق(5) المراجع.

ملحق (1)

وحدات القياس في النظام

وحدات القياس في النظام S.I(المغناطيسية والكهرومغناطيسية)

في الجزء الأول من هذا المقرر تم ذكر وحدات القياس للكميات الكهربائية وفيما يلي وحدات القياس التي تمت دراستها في الجزء الثاني :-

الكمية الفيزيائية (الرمز الشائع)	الوحدة المستخدمة	الوحدة في نظام S.I
التردد (f)	*Hertz* (*Hz*)	s^{-1}
الزاوية (θ.ϕ.α.β)	*Radian* (*rad*)	
الحث (L)	*Henry* (*H*)	$Kg.m^2/A^2.s^2$
المجال المغناطيسي(B)	$Tesla(T) = Wb/m^2$	$Kg/A.s^2$
الفيض المغناطيسي(ϕ)	*Weber* (*Wb*)	$Kg.m^2/A.s^2$
نفاذية الفراغ (μ_0)	$N/A^2 = H/m$	$Kg.m/A^2.s^2$
الطول الموجي (λ)	*m*	*m*

ملحق(2)

العلاقات الرياضية الهامة

العلاقات الرياضية الهامة:

أولاً: الجـــــــــــــــبر:

ملاحظة: كل من **(a,b,c,d)** ثوابت.

1. قاعدة الضرب:

$$\left(\frac{a}{b}\right)\left(\frac{c}{d}\right)=\frac{ac}{bd}$$

مثـــال:

$$\left(\frac{2}{3}\right)\left(\frac{4}{5}\right)=\frac{8}{15}$$

2. قاعدة القسمة:

$$\frac{\left({}^{a}/_{b}\right)}{\left({}^{c}/_{d}\right)}=\frac{ad}{bc}$$

مثـــال:

$$\frac{\left({}^{2}/_{3}\right)}{\left({}^{4}/_{5}\right)}=\frac{2\times 5}{4\times 3}=\frac{10}{12}$$

3. الإضافة:

$$\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}$$

مثـــال:

$$\frac{2}{3} - \frac{4}{5} = \frac{2 \times 5 - 4 \times 3}{3 \times 5} = \frac{-2}{15}$$

4. المعادلة المربعة:

حل المعادلة المربعة $ax^2 + bx + c = 0$ حيث (a,b,c) ثوابت أما x مجهول متغير وفي هذه الحالة يكون لحل المعادلة جذران يتم تعيينهما بالعلاقة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

ويكون الجذر حقيقاً real إذا كانت:

$$b^2 \geq 4ac$$

5. المعادلات الخطيـــــة:

تعتبر المعادلة خطية عندما تكون على الصورة:

$$y = mx + b$$

حيث تتغير قيمة y مع التغير في قيمة x وكل من b و m ثابتان يعبران عن الجزء الذي يقطعه الخط من محور y وعن ميل الخط المستقيم على الترتيب، ويعين ميل الخط المستقيم m بمعلومية نقطتين على الخط المستقيم بالاحداثيات (x_1,y_1) , (x_2,y_2) :

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

وكذلك من ظل الزاوية التي يصنعها الخط المس تقسيم مع محور السينات x وهذا ما تم تطبيقه عند الحديث عن المعامل الحراري للمقاومة $m = tan\theta$.

6. اللوغاريتمات *Logarithms*

التعبير التالي:

$$x = a^y$$

يعني أن x قوة لكمية معينة a تُسمَّى الأساس أما y فإنها تعبر عن لوغاريتم x للأساس a وتُكتَب على الصورة التالية:

$$y = log_a x$$

من الناحية العملية يستخدم الأساس 10 ويُسمَّى أساس اللوغاريتم الشائع *common logarithm,* عند استخدام اللوغاريتم الشائع $y = log_{10}x$ أو $x = 10^y$

والأساس $e = 2.718$ والذي يسمى اللوغاريتم الطبيعي *natural logarithm* ، أما عند استخدام اللوغاريتم الطبيعي $y = ln\, x$ أو $x = e^y$.

ويتم التحويل بين اللوغاريتمين بالعلاقة:

$$\ln x = 2.302585 \log_{10} x.$$

وفيما يلي بعض الخواص المفيدة للوغاريتمات:

$$\log(ab) = \log a + \log b$$

$$\log\left({}^{a}/_{b}\right) = \log a - \log b$$

$$\log(a^n) = n \log a$$

$$\ln e = 1$$

$$\ln e^a = a$$

$$\ln\left(\frac{1}{a}\right) = -\ln a$$

ثانياً: الهندســــــــــــــــة

المسافة بين نقطتين d لهما الإحداثيات (x_2,y_2), (x_1,y_1) هي:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

1. القياس النصف قطري *Radian measure*

إذا كان s قوس من دائرة يقابل زاوية θ محصورة بين نصفي القطر r فإن s يتناسب مع نصف القطر لقيمة ثابتة للزاوية النصف قطرية $\theta = \frac{s}{r}$ وتكون العلاقة بين الزاوية نصف القطرية والزاوية بالتقدير الستيني:

$$\vartheta = \frac{s}{r} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi\ (rad) = 360\ deg$$

$$1rad = \frac{180\ deg}{\pi} = 57.3\ deg$$

2. بعض المساحات والحجوم الهامة:

الشكل الهندسي	المساحة	الحجم
المستطيل (أبعاده a,b)	$A = ab$	
الدائرة (نصف قطرها r)	$A = \pi r^2$	
المثلث (القاعدة b والارتفاع h)	$A = \frac{1}{2}bh$	
الاسطوانة (الطول L)	$A=2\pi rL$ Lateral surface	$V=\pi r^2L$
متوازي المستطيلات (ابعاده a,b,h)	$A=(ah+ab+hb)$	$V= abh$
الكرة (نصف قطرها r)	$A = 4\pi r^2$	$V = \frac{4\pi r^3}{3}$

3. بعض علاقات النسب المثلثية الهامة:

$$\sin\theta = \cos(90-\theta)$$

$$\cos\theta = \sin(90-\theta)$$

$$\sin(-\theta) = -\sin\theta$$

$$\cos(-\theta) = \cos\theta$$

وفي هذا المقرر الدراسي وعند دراسة التداخل في الموجات يحتاج الدارس لعلاقات النسب التالية:

$$sin(\alpha \pm \beta) = sin\,\alpha\, cos\,\beta \pm cos\,\alpha\, sin\,\beta$$

$$cos(\alpha \pm \beta) = cos\,\alpha\, cos\,\beta \mp sin\,\alpha\, sin\,\beta$$

$$sin\,\alpha \pm sin\,\beta = 2\, sin\left[\frac{1}{2}(\alpha \pm \beta)\right] cos\left[\frac{1}{2}(\alpha \mp \beta)\right]$$

$$cos\,\alpha + cos\,\beta = 2\, cos\left[\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\right] cos\left[\frac{1}{2}(\alpha - \beta)\right]$$

$$cos\,\alpha - cos\,\beta = 2\, sin\left[\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\right] sin\left[\frac{1}{2}(\alpha - \beta)\right]$$

ملحق(3)

الإختبارات الذاتية

الاختبار الذاتي للفصل الرابع

1. القوة بين شحنتين في الهواء $4N$. وعلى نفس المسافة وُضعت شحنتان في وسط سماحيته النسبية 2 فأصبحت القوة بينهما:

2N	1N	8N	لاشيء مما ذُكر

2. إذا ضُوعفت المسافة بين شحنتين وكذلك ضُوعف مقدار كل منهما فإن القوة بينهما:

مساوية للقوة الأصلية	4 اضعاف القوة الأصلية	1/2 القوة الأصلية	2 القوة الأصلية

3. وُضعت شحنتان على مسافة معيّنة في الهواء. ثُمَّ وُضع بينهما صفيحة من النحاس الأصفر *BRASS* .وبذلك فإن القوة بين الشحنتين:

تزيد	تنقص	تبقي ثابتة	لاشيء مما ذُكر

4. كُرتان *two balls* تحملان شحنتين $(-5\mu C,+5\mu C)$ على كل واحدة منهما فإن القوة بين الشّحنتين ستصبح:

صفر	F	5F	F/2

5. نسبة القوة بين كرتين صغيرتين عليهما نفس الشحنة في الهواء. وفي وسط آخر سماحيته K هي:

1:K	K:1	$1:K^2$	$K^2:1$

6. ثلاّت شحنات كل واحدة منها ($+5\mu C$) ، وُضعت عند أركان مثلّث متساو الأضلاع ،إذا كانت القوة بين أي شحنتين F فإن محصلة القوة على كل شحنة:

F/1.7	1.7F	2F	F

7. مقدار المجال الكهربائي E اللازم لاتزان قطرة سائل كتلتها m وشحنة q هو:

لاشيء مما ذُكر	E/m	Mgq	mg/q

8. أربع شحنات ($5,-3,-4, 2C$) وُضعت عند أركان مربع وبذلك يكون عند تقاطع القطرين E و V:

$E\neq0,V\neq0$	$E\neq0,V=0$	$E=0,V=0$	$E=0,V\neq0$

9. سعة المكثف ذي اللوحين المتوازين لا تعتمد على:

المسافةبين اللوحين	معدن اللوحين	مساحة اللوحين	الوسط بين اللوحين

10. مكثفان متماثلان *Identical* وصُلا على التوازي ثُم شُحنا إلى جهد V، وفصُل كل منهما عن الآخر وبعد ذلك تمَّ توصيلهما على التوالي. فإن فرق الجهد على كل من المكثفين في حالة التوالي:

4V	3V	2V	V

11. مكثفان كل منهما ($1F$) تمَّ شحنهما إلى (10V) و(6V) على الترتيب ثُم وُصّلا

بسلك فإن جهدهما المشترك:

$8V$	$1V$	$4V$	$16V$

12. تم شحن مكثف إلى جهد $200V$ ثُم اكتسب شحنةً $0.1C$. فعند تفريغه ستنطلق طاقة قدرها:

$20J$	$10J$	$2J$	$1J$

13. لزيادة سعة مكثف ذي لوحين متوازين يجب أن يُوضع بين لوحيه:

stainless steel فولاذ	*copper* نحاس	*tin* خارصين	*mica*ميكا

14. ثلاثة مكثفات ($3,9,18\mu F$) تمَّ توصيلهما على التوالي ثُم على التوازي فإن النسبة بين محصلة سعتهما (C_S/C_P):

1:3	1:1	15:1	1:15

15. إذا شُحن مكثف ($2\mu F$) إلى ($200V$) ثم وصِّلا لوحاه بسلك فإن الحرارة الناتجة:

$2.5\times10^{-2}J$	$4\times10^{-5}J$	$4\times10^{-4}J$	$4\times10^{-4}J$

16. موصل مشحون غير منتظم *irregularly* يكون الجهد أكثر عند الجزء:

متساو في جميع أجزائه	الحواف الحادة	الكُري	المسطّح

17. جسيم يحمل شحنةً ($10^{-4}C$) يتحرك في مجال كهربائي منتظم ($30V/m$). وبعد أن يتحرك مسافة ($1m$) فإن طاقة حركته:

لا شيء مما ذُكر	$9\times10^{-4}J$	$30J$	$30\times10^{-4}J$

18. يُبذل شُغل مقداره ($2J$) لينقل شحنة مقدارها ($4C$) من نقطة إلى أخرى المسافة بينهما ($0.2m$) فإن فرق الجهد بين النقطتين:

لا شيء مما ذُكر	0.5V	40V	1.6V

19. مكثف ذو لوحين متوازين سعته ($50\mu F$) في الهواء وعندما يوضع في زيت تصبح سعته ($110\mu F$) فإن ثابت عزل الزيت:

2.20	1.10	0.55	0.35

20. في الشكل يكون فرق الجهد على المكثف ($2\mu F$):

56V	28V	10V	60V

الاختبار الذاتي للفصل السابع.

1.7 النفاذية النسبية للحديد تكون ضمن الحدود الآتية (10^{-4}) (1) (10^4) (0)

2.7 عندما يسخن المغناطيس فإنه (يفقد مغنطته) (يكتسب المغنطة) (لا يفقد ولايكتسب) (لاشيء مما ذكر).

3.7 أي من المواد الآتية يناسب قوالب *cores* المغناطيس الاصطناعي *electromagnetic* (الهواء) (الحديد المطاوع *soft iron*) (الفولاذ *steel*) (النحاس).

4.7 يجب أن تكون للقوالب المغناطيسية (نفاذية كبيرة) (ذات نفاذية صغيرة) (نفاذيتها صفر) (لاشيء مما ذكر).

5.7 أي من المواد الآتية *Ferromagnetic* (الألومونيوم) (الكوارتز) (النيكل) (البيزموت).

6.7 النفاذية النسبية لمادة 0.999 وبذلك فإنها (*ferromagnetic*) (*diamagnetic*) (*paramagnetic*) (لا شيء مما ذكر).

7.7 سلكان *P* و *Q* يمر في كل منهما تيار 10A و2A علي الترتيب في اتجاهين متضادين . إذا كان السلك *P* طوله لاتهلئي وطول السلك *Q* يساوي 2*m* فإن القوة على *Q* عندما يكون على بعد 10*cm* من P هي:
($4\times10^{-4}N$) ($8\times10^{-5}N$) ($4\pi\times10^{-5}N$) ($4\pi\times10^{-7}N$)

8.7 السلكان المتوازيان اللذان يحملان تيارين في اتجاهين متضادين:

(يجذب كل منهما الآخر) (ينفر كل منهما الآخر) (يلغي كل منهما الآخر) (لا شيء مما ذكر).

9.7 أي من المواد الآتية *Ferromagnetic* (البيزموت) (الأنتيموني *Antimony*) (الكروميوم) (الماء).

10.7 الإحتفاظية بالمغنطة *Retentivity* تكون ذات نهاية قصوي عند (الفولاذ) (الحديد المطاوع) (النحاس) (النحاس الأصفر *brass*).

11.7 يتحرك مغناطيس في حالة *a* بسرعة وقي حالة *b* ببطء نحو ملف فتكون قوته الدافعة المستحثة (كبيرة في حالة*a*) (صغيرة في حالة *b*) (متساوية في الحالتين) (كبيرة في الحالةb).

12.7 تيار يمر خلال ملف ويزيد من الصفر إلى 6A في زمن 0.3 ثانية وقوة دافعة بين طرفيه 30*V* . فإن حثه الذاتي هو: (2H) (1.5H) (2.5H) (5H).

13.7 ملف حثه الثاني 5H ينقص التيار المار فيه بمعدل 2A/*s* وبذلك تكون قوته الدافعة: (10V) (-10V) (-2V) (2.5V).

14.7 ملف مساحته $100cm^2$ عدد لفاته500، عمودي عليه مجال مغناطيسي مقداره $0.1wb/m^2$ فإذا انخفض المجال إلى الصفر خلال 0.1*sec* فإن للملف قوة دافعة: (50V) (15V) (5V) (10V).

15.7 ملفان حث كل منهما الذاتي L_1 و L_2 وضعا متجاورين بحيث يصل كل الفيض الخارج من احدهما للملف الآخر . فإن الحث المبادل بينهما هو

$[\ (L_1+L_2)/2\ ,\ L_1L_2\ ,\ L_1/L_2,\ \sqrt{L_1L_2}\ ]$

16.7 ملف تصف قطره R يتكون من 400 لفة وحثه الذاتي ($32mH$). ما مقدار الحث الذاتي لملف يشبهه ولكن عدد لفاته 300 هل هو:

($18mH$) ($64mH$) ($8mH$) ($16mH$)

اختبارات فصـــــل ربيع 2007

س1 اختر الإجابــــة الصحيحة فيما يلي:

.1 من العلاقة: $F = B\,il$ والعلاقة $\Phi = BA$ فإن N/Am تساوي:

m^2/wb	wb/m^2	wb/T	A/wb

.2 $0.1\mu F$ تساوي

$100000pF$	$100pF$	$0.100pF$	$1000pF$

.3 I^2R تساوي

I^2/R	V^2/R	V^2/R^2	V^2R

.4 النفاذية النسبية للمادة :

B/H	H/B	μ/μ_0	$\mu_0\mu$

.5 من العلاقة: V = W/Q والعلاقة: V = IR فإن J/C تعادل:

Ω/A	$A^2\Omega$	$A\Omega$	A/Ω

.6 فيما يلي علاقة واحدة خاطئة :

$\sigma=1/\rho$	$H=\mu/\Phi$	$B=\Phi/A$	$F=\mu I_1 I_2 I/2\pi d$

7. السلكان المتوازيان اللذان يحملان تيارين في اتجاهين مختلفين:

يتجاذبان	يتنافران	يلغي كل منهما مجال الآخر	لاشيء مما ذكر

8. عند تسخين المغناطيس فانه:

يكتسب مغناطيسية	يفقد مغناطيسيته	لايفقد و لا يكتسب	لاشيء مما ذكر

س2 اختر الإجابـــة الصحيحة فيما يلي:

1. اذا كانت النفاذية النسبية لمادة 800 فإن هذه المادة:

Non-magnetic	Ferromagnetic	Paramagnetic	diamagnetic

2. $60cm^2$ تساوي:

$6x10^{-3}m^2$	$6x10^{-4}m^2$	$6x10^{4}m^2$	$6x10^{4}m$

3. من العلاقة: $\mu = B/H$ والعلاقة: $B = \mu I/l$ فإن $m\ T/A$ تساوي:

WbA/m	Wb/m^2	Wb/mA	(Wb/m)/A

4.ملف دائري نصف قطره R عدد لفاته N يمر فيه تيار I سينتج مجالا عند نقطة $z>>R$ مقداره:

$\mu IN/l$	$\mu IR^2/2z^3$	$\mu R^2/2Z^3$	$\mu I/2R$

5. لديك الأجهزة الكهربائية الآتية: سخان ($1kW,250V$)- غلاية ($1kW,250V$)- مصباح ($1kW,250V$) أي منها أعلى مقاومة كهربائية:

السخان	الغلاية	كل منها متساوي في المقاومة	المصباح

6. سلك مقاومة (RΩ) إذا استطال إلى ضعف طوله فان مقاومته تصبح :

R/4	4R	2R	R/2

7. إذا كانت مقاومة سلك قطره d وطوله l تساوي R فان مقاومة سلك آخر من نفس المادة قطره $2d$ وطوله $4l$ تساوي:

R/4	R/2	R	2R

8. $0.1\mu F$ يساوي:

$1000pF$	$0.100pF$	$100pF$	$100000pF$

س3 اختر الإجابـــــــــة الصحيحة فيما يلي:

1. يقصد بالاضطراب الذي يتحرك خلال الوسط المادي

التيارات الدوامية	التخلفية المغناطيسية	الموجـــة	الحث الكهومغناطيسي

2. إذا كان لموجة التعبير الرياضي الآتي ($y = 0.01sin(31.4t-3.14x)$ فإن λ

$0.01m$	$5m$	$0.2m$	$2m$

3. من العلاقة: $\mu = B/H$ والعلاقة: $B = \mu I/l$ فإن $m\ T/A$ تساوي

wbA/m	wb/m^2	wb/mA	$(wb/m)/A$

4. ظاهرة تخلف كثافة الفيض B عن قوة المغنطة H تسمى:

إزالة المغنطة	التخلفية المغناطيسية	القوة الدافعة الكهربائية	الحث المتبادل

5. من خلال العلاقتين: $e.m.f = LdI/dt$ و $W = 0.5LI^2$ فإن Vs/A يساوي:

wb/Vs	Vwb/s	J/A^2	As/V

6. معامل الربط بين ملفين 0.6 فإذا كان الفيض في الملف الذي يمر فيه تيار 0.1*wb* فإن الفيض الذي يقطع الملف الآخر:

0.06*V*	0.06*wb*	0.16*wb*	60*wb*

7. ملف حثه الذاتي 6H عندما كان عدد لفاته 40 فإذا أضيف إليه 10 لفات فان حثه الذاتي يصبح:

9.375H	66.64×10^4H	3.85H	0.26H

8. مقاومة موصل (40Ω) عند ($10C^o$) أصبحت (48.25Ω) عند ($60C^o$) فإن α_o

0.0043K	$0.0043/C^o$	$0.0034/C^o$	$340/C^o$

9. سرعة الموجات الكهرومغناطيسية ترتبط بخصائص الوسط الكهربائية والمغناطيسية بالعلاقة:

$\mu^2\varepsilon^2$	$1/\varepsilon\mu$	$\sqrt{1/\varepsilon\mu}$	ε^2/μ^2

المركز العالي للمهن الإلكترونية /ط **التقويم النهائي لفصل ربيع 2008**

المقرر الدراسي GS111 فيزياء تقنية الزمن : ساعتان

الجزء الأول (لكل سؤال درجة واحدة)

إملأ الفراغات الآتية:

- مقلوب المقاومة النوعية *resistivity* يسمي ....
- المقاومة الخطية هي التي يتناسب التيار المار فيها .... مع الجهد المسلط عليها.
- المعامل الحراري للموصل المعدني يزداد مع .... في درجة الحرارة.
- المادة *ferromagnetic* هي مادة لها نفاذية *permeability* أكبر جدا من ....
- النفاذية في الدائرة المغناطيسية تناظر .... في الدائرة الكهربائية.

أجب بصح T أو خطأ F

- المقاومة النوعية للمادة تتناسب عكسيا مع طولها.
- كلما زادت درجة حرارة العازل *insulator* تزداد مقاومته.
- بالرغم من أن الخشب ليس مادة مغناطيسية إلا أنه يسمح بمرور الفيض المغناطيسي خلاله.
- النفاذية النسبية بدون وحدات.
- الموصلان المتوازيان اللذان يحملان تيارين في اتجاهين مختلفين ينفر كل منهما من الآخر.

- المعاوقة *reluctance* في الدائرة المغناطيسية تناظر المقاومة في الدائرة الكهربائية.
- تزداد النفاذية النسبية تبعا للزيادة في كثافة الفيض.

الجزء الثاني (لكل سؤال4.5 درجة).

اختر الإجابـــة الصحيحة فيما يلي (مع توضيح كيفية الحصول عليها).

1. مقاومة سلك معدني بياناته كالتالي ($\rho=10^{-8}\Omega m,\ r=\sqrt{1/\pi}\ mm, l=200m$) تساوي

$\pi 10^{-6}\Omega$	2Ω	$\pi 10^{12}\Omega$	1Ω

2.إذا مر تيار في موصل مقداره(4.8A) فإن عدد الإلكترونات المارة خلاله في الثانية

$76.8x10^{2}$	$3x10^{19}$	$7.68x10^{30}$	$3x10^{-19}$

3.المعامل الحراري لسلك ($\alpha=0.00125/C^{o}$) عند ($27C^{o}$) حيث كانت مقاومته (1Ω) وعندما أصبحت مقاومته (2Ω) فإن درجة حرارته:

$854C^{o}$	$1127C^{o}$	$827C^{o}$	$881C^{o}$

4.القوة المبادلة لوحدة الاطوال بين سلكين متوازيين طويلين يمر في كل منهما (1A) ويفصلهما ($1m$)؟

$2x10^{-7}N$	$2x10^{-7}N/m$	$4\pi x10^{-7}$	$2x10^{-7}m$

الجزء الثالث (لكل سؤال عشرة درجات)

1. فيما يلي بيانات عن أحمال متصلة بدائرة كهر بائية:

- ست مصابيح كل منهما 40W وتعمل لمدة 4 ساعات / في اليوم.
- مصباحان كل منهما (125W) تعمل لمدة 2 ساعة / اليوم.
- سخان (1000W) يعمل لمدة 3 ساعات /اليوم.

إذا كان سعر وحدة إستهلاك الطاقة 70 درهماً فكم تكون فاتورة الكهرباء لشهر (يونيو)؟

2. لف ملف (*coil*) بانتظام ($300t$) على قالب فولاذ *steel core* نفاذيته النسبية $\mu_r = 900$ و متوسط طوله $\ell = 40cm$ و مساحة مقطعه ($A = 5cm^2$) فإذا كانت للملف مقاومة قدرها $R = 100$ تتصل بمصدر تيار مستمر 250V(D.C) إحسب :

أ. شدة المجال؟

ب. الفيض الكلي؟

جـ. معاوقة الدائرة *Reluctance* ثم مقلوب المعاوقة *Permeance* للدائرة؟

3. حلقة حديد *iron ring* مساحة مقطعها $A = 6cm^2$ لف عليها سلك ($100t$) ثم قطعت على محيطها فتحة طولها ($\ell_g = 2mm$) إحسب تيار المغنطـــــة اللازم لإنتاج فيض $\phi = 0.1mwb$ إذا كان متوسط طول المسار المغناطيسي ($\ell = 30cm$) و النفاذية النسبية $\mu_r = 470$.

بعض الثوابت:

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} H/m$$

$$\pi = 3.14$$

$$e^- = 1.6 \times 10^{-19} C$$

نمـــــــــــوذج (1)

الاسم المجموعة رقم القيد

ملف حلزونـــي ($50cm$) وقطره ($10cm$) لف عليه (1500) لفة إحسب :

- الحث الذاتــــــي؟
- الطاقة المخزنة في المجال المغناطيسي عندما ينساب خلاله تيار (4A)؟

الإجابـــــــة

نمـــــــــــوذج (2)

الاسم المجموعة رقم القيد

ملف عدد لفته 1000 لفة تم لفه بإنتظام على حلقة لمادة غير مغناطيسية متوسط قطرها $20cm$ ومساحة مقطع الملف $4cm^2$ يمر خلالها تيار 2A إحسب:

- الفيض الكلي؟
- حث الملف بالمليهنري؟

الإجـــابــــة

نمـــــــــــوذج (3)

الاسم المجموعة رقم القيد

ملفان A و B عدد لفاتهما على الترتيب 2000 و 1500 لفة فعندما يمر تيار 0.5A خلال A ينتج فيضا مغناطيسيا $6\mu wb$ في الملف A و83% من هذا الفيض يصل B إحسب:

- الحث الداتي للملف A ؟
- الحث المتبادل بين الملفين؟

الإجابــــــة

كلية التقنية الإلكترونية /طرابلس **التَّقْيِيم النصفي الأول خريف 2011–2010**

في مقرر GS111 فيزياء تقنية **الزمن : ساعة**

الدرجة :30

الإسم : .... رقم القيد : ....

س[1] : أكتب الكمية الفيزيائية المناسبة للوحدات الفيزيائية الأتية في النظام S.I :

m/s^2 ....

$Kg\ m/s^2$ ....

$Kg\ m^2/s^2$ ....

$Kg\ m/s$ ....

س[2]: **1.** إجري العمليات الحسابية الأتية:

$$\frac{(6000)(5\mu)}{3\ m} = \cdots$$

$$\frac{MG}{T} = \cdots$$

$$\sqrt{T\mu} = \cdots$$

2. من علاقة الضرب القياسي للمتجهين:

$$A.B = ab\ cos\theta$$

$$A = 6\hat{\imath} + 2x\hat{\jmath} - 3\hat{k}$$

$$B = 8\hat{\imath} + 3\hat{\jmath} + 6\hat{k}$$

عين المتغير x عندما يكون المتجهان متعامدين؟

3. شحنتان أحدهما 4 أمثال الأخرى و المسافة بينهما ($3cm$) بحيث كانت قوة التجاذب بينهما ($0.064N$) ما مقدار كل من الشحنتين و ما نوعهما ؟

$k = 9 \times 10^9 \ Nm^2/c^2$

حـــــــــــــــــــــظاً سعيداً

كلية التقنية الإلكترونية /طرابلس **التَّقْيِيم النهائي خريف 2010–2011**

في مقرر GS111 فيزياء تقنية **الزمن : ساعتان**

أجب عن أربع اسئلة مما يأتي (لكل سؤال 15درجة).

س 1. ملف حلزوني عدد لفاته (300*t*) و طوله (20*cm*) يحمل تياراً (1.5A)

1. ما مقدار شدة المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني؟ (7درجات)

2. ما مقدار نفاذية القالب (*core*) الذي بداخله عند هذه القيمة من H إذا كان المجال المغناطيسي بداخله B يساوي (0.6.T) وبكم مرة أكبر من نفاذية الهواء؟ (8 درجات)

$\mu_0=4\pi\times10^{-7}H/m$

س 2 أ. إذا كانت القوة بين موصلين متوازيين يحملان تيارين كل منهما عكس الآخر 3.2*N/m* عندما تكون المسافة بينهما (50*mm*) في الهواء. فإذا كان التيار في أحد الموصلين (1000A) إحسب التيار في الموصل الأخر و ما نوع هذه القوة ؟

(10 درجات)

ب. موجة جيبية يعبر عنها بالمعادلة $y(x,t) = 2sin(5x +15t)$ الوحدات SI ما المسافة التي تقطعها الموجة خلال 15*s*؟ (5 درجات)

س 3 أ. حلقة حديد *iron ring* مساحة مقطعها $A = 6cm^2$ لف عليها سلك (100*t*) ثم قطعت على محيطها فتحة طولها ($\ell_g = 2mm$) إحسب تيار المغنطـــــة اللازم لإنتاج فيض $\phi = 0.1mwb$ إذا كان متوسط طول المسار المغناطيسي ($\ell = 30cm$) و النفاذية النسبية $\mu_r = 470$. (10 درجات)

ب. موجة جيبية تنتقل في الاتجاه السالب x سعتها $10cm$ وطولها الموجي $20cm$ وترددها 8Hz أكتب تعبيرا عن y(x,t) بوحدات SI إذا كانت $y(0,0)=10cm$

(5 درجات)

س4 أ. لُفَّ ملفٌ على قالب حديد نفاذيته النسبية (400) وعدد لفاته $(150t)$ و مساحة مقطعه $(5cm^2)$ إحسب حث الملف إذا كان التيار عند الاستقرار (*steady*) يساوي $3mA$ و ينتج مجالاً مغناطيسياً $(10\ line/cm^2)$ عندما يكون الوسط هواء؟ **(7درجات)**

ب. إثبت أن:

$$y(x,t) = A\,sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x \pm vt) - \emptyset\right]$$

$$y(x,t) = A\,sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} \pm ft\right) - \emptyset\right]$$

(4 درجات)

ج. من مولِّد للموجات التوافقية ***harmonic waves*** عبر حبل ***rope*** حدثت 60 ذبذبة كاملة خلال 30 ثانية وانتقلت إحدى القمم مسافة $400cm$ خلال $10s$ على امتداد الحبل . إحسب التردد – سرعة الموجة – و الطول الموجي؟ **(4درجات)**

س5 أ. لُفَّ ملفٌ $(500t)$ على دائرة مغناطيسية معاً، وقتها $S = 1.55\times10^6 AT/wb$ إحسب الحث الذاتي للملف؟ **(5 درجات)**

ب. الملف الابتدائي لمحول وحيد الطور(*single phase*) وعدد لفاته $(500t)$ لفة يتصل بمصدر (230V) وعدد لفات الملف الثانوي $(1500t)$ لفة إحسب القوة المستحثه في الملف الثانوي؟ **(10درجات)**

كلية التقنية الإلكترونية /طرابلس **التَّقْيِيم النهائي خريف 2010–2011**

في مقرر GS111 فيزياء تقنية **الزمن : ساعتان**

الإجابـــــــة النموذجية

ج1

.1

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{300 \times 1.5}{0.2} = 2250 \ A/m$$

(7 درجات)

.2

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{0.6}{2250} = 2.67 \times 10^{-4} \ Tm/A$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} = \frac{2.67 \times 10^{-4}}{4\pi \times 10^{-7}} = 212$$

(8 درجات)

ج2

القوة بين الموصلين لكل متر:

$$F = \frac{4\pi(I_1 I_2) \times 10^{-7}}{2\pi d}$$

$$F = \frac{2(I_1 I_2) \times 10^{-7}}{d} = 3.2 \ N$$

$I_2 = ?$ ، $d = 50\times10^{-3} m$ ، $I_1 = 1000A$

$$I_2 = \frac{Fd}{2I_1 \times 10^{-7}}$$

$$I_2 = \frac{(3.2)(50 \times 10^{-3})}{2(10^3) \times 10^{-7}} = \frac{(3.2)(50)}{2}\left({10^{-3}}/{10^{-4}}\right)$$

$$I_2 = \frac{(3.2)(50)}{2}(10)$$

$$I_2 = 5(3.2)(50) = 16.0 \times 50 = 800A$$

(10 درجات)

ب. المسافة التي تقطعها الموجة هي المسافة الأفقية $x = vt$ ولحساب السرعة v يتم ذلك بحساب السرعة $v = \omega/\kappa = 15/5 = 3m/s$ من المعادلة الموجية $k = 5m^{-1}$ و $\omega = 15rad/s$

وبذلك المسافة التي تقطعها الموجة $x = vt = 3\times15 = 45m$

(5 درجات)

ج[3]

1 .

$$B = \frac{\emptyset}{A} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-4}} = 0.167\ wb/m^2$$

هذه كثافة الفيض التي تدخل كلا من الحديد والفجوة وشدة مجال الحديد أو قوة المغنطة

$$H_{iron} = \frac{B}{\mu_o\mu_r} = \frac{0.167}{4\pi \times 10^{-7} \times 470} = 282.90A/m$$

والقوة الدافعة المغناطيسية للحديد $m.m.f_{iron} = H_{iron}l = 282.90\times0.3 = 84.78$ At

شدة مجال الفجوة الهوائية:

$$H_g = \frac{B}{\mu_o} = \frac{0.167}{4\pi\times10^{-7}} = 132961.78\ A/m$$

القوة الدافعة المغناطيسية للفجوة:

$$m.m.f_{gap} = H_{gap}l_{gap} = 132961\times2\times10^{-3} = 265.92\ At$$

والقوة الدافعة الكلية:

$$NI = m.m.f_{iron} + m.m.f_{gap} = 84.78+265.92 = 350.70At$$

والتيار اللازم لهذا الفيض:

$$I = \frac{m.m.f_{total}}{N} = \frac{350.7}{100} = 3.507\ A$$

(10 درجات)

ب. الشكل العام للموجة الجيبية:

$y = A\sin(kx \pm \omega t-\phi)$ عندما $y(0,0) = 10 = 10\sin\phi$ من هنا $\sin\phi = 1$

و $\phi = \pi/2$ من المسألة:

$$k = 2\pi/\lambda = 10\pi\ ,\ \omega = 2\pi f = 16\pi$$

وبذلك تكون الصورة الموجية

$y = 0.1\sin(10\pi x + 16\pi t - \pi/2)$ (5 درجات)

4ـجـ

1.

$$\mu_r = \frac{B_i}{10}$$

$$B_i = 10\mu_r = 10 \times 400 = 4000\ line/cm^2$$

الفيض الذي أنتجه ($I = 3\times10^{-3}A$) في قالب الحديد:

$$\emptyset = B_i A = 4000 \times 5 = 20.000\ lines = 2 \times 10^{-4}\ wb$$

$$L = \frac{N\emptyset}{I} = \frac{150 \times 2 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-3}} = 10\ H$$

(7 درجات)

.2

$$y(x,t) = A\,sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x \pm vt) - \emptyset\right] = A\,sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} \pm \frac{v}{\lambda}t\right) - \emptyset\right]$$

$$y(x,t) = A\,sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} \pm ft\right) - \emptyset\right]$$

(4 درجات)

.3

التردد = عدد الذبذبات الكلية \ الزمن الكلي

$$f = \frac{60}{30} = 2\ Hz$$

السرعة = الطول الكلي للحبل \ زمن انتقال الموجة

$$v = \frac{4}{10} = 0.4\ m/s$$

الطول الموجي = السرعـــــة \ التردد

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{0.4}{2} = 0.2\ m$$

(4 درجات)

ج[5]

1. لحساب الحث الذاتي. $L = N^2/S = (500)^2/(1.55\times10^6) = 0.16Hz$

(5 درجات)

2. من معادلة المحول $E_1/E_2 = N_1/N_2 = 230/E_2 = 500/1500 = 1/3$

من هذه العلاقة القوة الدافعة المستحثة في الملف الثانوي $E_2 = 230\times3 = 690V$

(10 درجات)

كلية التقنية الإلكترونية /طرابلس **التَّقْيِيم النهائي خريف 2011−2012**

في مقرر GS111 فيزياء تقنية **الزمن :** ساعتان

س1

أ. عبر عن المجال المغناطيسي B **(**كثافة الفيض**)** فى كل من الحالات التالية:

- ملف حلزوني؟
- ملف دائري عند المركز؟
- ملف دائري عند مسافة Z>>R ؟ (6 marks)

ب. تيار شدته (0.2A) يمر خلال ملف دائري نصف قطره (12cm) وعدد لفاته (100) .إحسب:

- شدة المجال المغناطيسي عند المركز؟
- على محور الملف ($10cm$) من المركز؟ (9 marks)

س2

أ. من العلاقة:

$$F = BIl\ sin\theta$$

- أُكتُبْ المعنى الفيزيائي لكل رمز فيها مع ذِكر وحدة قياسه في النظام S.I ؟
- حدد متى يكون للمتغيِّر F نهاية قصوى ومتى يكون صفراً ؟ (8 marks)

ب. موصِّلان متوازيان يحمِلُ كلٌّ منهما (100A) فى نفس الإتجاه بينهما ($8cm$)

إحسب:

- القوة لوحدة الأطوال؟
- ما نوع هذه القوة؟ (7 marks)

س3

أ. أكتب العلاقة الرياضية بين الكميات الفيزيائية التالية:

- القوة الدافعة الكهربائية المُستحثّة – تغير الفيض بالنسبة للزمن؟
- معامل الحث الذاتي – الفيض – شدة التيار الكهربائي في الموصل؟
- الطاقة المخزّنة في ملف – معامل الحث الذاتي لملف – شدة التيار في ملف؟

(9 marks)

ب. ملف عدد لفاته (500) لُفّ على دائرة مغناطيسية معاوقتها $S = 1.55\times10^{6} A/wb$

إحسب الحث الذاتي للملف؟ (6 marks)

س4

أ. أُكتُبْ معادلةَ المحول النموذجية مع شرط متى يكون خافضا أم رافعا للجهد؟

(7 marks)

ب. إحسب $m.m.f$ اللازمة لإنتاج فيض كثافته ($0.6 W/m^2$) في فجوة هوائية طولها $8mm$؟

(8 marks)

س5 يُعبَّر عن موجة جيبية بالعلاقة:

$$y(x,t) = 0.1 sin\left[10\pi\left(\frac{x}{5} + t - \frac{3}{2}\right)\right]$$

الوحدات بالنظام S.I ما مقدار:

- التردد وسرعة الموجة؟
- زاوية الطور؟
- اتجاه انتشار الموجة وسعتها؟ (15 marks)

الإجابة النموذجية

ج[1]: أ.

- لملف حلزوني

$$B = \frac{\mu IN}{l}$$

- عند المركز z = 0

$$B = \frac{\mu INR}{2R}$$

- عند مسافة z>>R

$$B = \frac{\mu INR}{2z^3}$$

ب.

- شدة المجال المغناطيسي عند المركز

$$B = \frac{\mu_o Ni}{2R}$$

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7}(100)(0.2)}{2(0.12)}$$

$$= \frac{2\pi \times 10^{-6}}{12 \times 10^{-2}} = \frac{\pi}{6} \times 10^{-4}\ T = \frac{3.14}{6} \times 10^{-4} = 52\ \mu T$$

- على محور الملف $(10cm)$ من المركز

$$B = \frac{\mu_o NIR^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{4\pi(0.2)(100)(0.12)^2}{2[(0.12)^2 + (0.1)^2]^{3/2}}$$

$$= \frac{40\pi \times 144 \times 10^{-4}}{[244 \times 10^{-4}]^{3/2}}$$

$$= \frac{576 \times 10^{-3}}{(244)^{3/2} \times 10^{-6}} = \frac{576 \times 10^{-3} \times 10^{6}}{(244)\sqrt{244}} = 151.13\ T$$

جـ2:

F = القوة الناتجة عن سلك يمر فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي يميل عليه بزاوية θ وحدتها نيوتن.

B = المجال المغناطسي T أو wb/m^2.

I شدة التيار بالأمير A.

ب. I و 8 طول سلك بالمتر m عند الزاوية $\theta = 90^0$,sin90 =1 الموصل عمودي على المجال ليكون:

F = BIL

قصوي عند الزاوية θ = 0 يكون الموصل موازيا للمجال F = 0

ب.

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10^4}{2\pi(0.8)}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{2 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-1}} = 0.25 \times 10^{-2}\ N/m$$

نوع القوة تجاذب لأن التيارين في إتجاه واحد.

جـ3:

$$\varepsilon = -N\frac{d\emptyset}{dt}$$

$$L = \frac{N\emptyset}{I}$$

$$w = \frac{1}{2}LI^2$$

$$L = \frac{N^2}{S} = \frac{25 \times 10^4}{1.55 \times 10^6} = 16.13 \times 10^{-2}\ H$$

جـ4:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

أ.

$$E_2 N_1 = E_1 N_2$$

يكون رافعاً عندما:

$$E_2 > E_1$$

$$N_2 > N_1$$

$$E_2 = E_1\frac{N_2}{N_1}$$

يكون خافضاً عندما:

$$E_2 < E_1$$

$$N_2 < N_1$$

$$E_2 = E_1 \frac{N_2}{N_1}$$

$$m.m.f = \emptyset s = BA\frac{l}{\mu_o A} = \frac{Bl}{\mu_o}$$

$$= \frac{0.6 \times 8 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7}} = \frac{48 \times 10^{-4} \times 10^{7}}{4\pi} = 3.82 \times 10^{3}\ AT$$

ج5:

$$y(x,t) = 0.1sin\left[\frac{10\pi}{5}x + 10\pi t - \frac{30\pi}{2}\right]$$

$$k = \frac{10\pi}{5} = 2\pi$$

$$\omega = 10\pi$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{10\pi}{2\pi} = 5\ m/s$$

$$\omega = 2\pi f \quad \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{10\pi}{2\pi} = 5\ rad/s$$

الطور ι=15π فى الإتجاه السالب **(** من اليسار إلى اليمين**)** والسعة $A = 0.1\ m$

انتهـــت الإجـابة

كلية التقنية الإلكترونية /طرابلس **الإمتحان النهائى الفصل الأول \ ربيع 2012**

في مقرر GS111 فيزياء تقنية **الزمن : ساعتان**

التاريخ : الاثنين 2012-7-16

س1:

1. من العلاقة: $B = \mu H$ عبِّر عن الوحدة القياسية للرمز μ فى النظام S.I بدلالة وحدتَيْ B و H وما الكمية الفيزيائية التى تقابلها ؟ (5 درجات)

2. قضيب حديد مساحة مقطعه ($1cm^2$) وفيضه المغناطيسي ($10^{-4}wb$)

إحسب كثافة الفيض داخل القضيب؟ وإذا كانت النفاذية النسبية للحديد ($\mu_r = 2000$)

ما مقدار شدة المجال المغناطييسى؟ (10 درجات)

س2:

1. عبَّر بالمعادلات الرياضية عما يلي:

- القوة الدافعة الكهربائية المُستحثّة هى تغيَّر الفيض المغناطيسى بالنسبة للزمن. (3 درجات)
- فى المحول المثالى القدرة الداخلة من المصدر تساوى القدرة الخارجة إلى الحِمل. (3 درجات)
- سرعة الموجة هى حاصل قسمة التردد الزاوي والعدد الموجي. (3 درجات)

2. ملف حلزوني عدد لفاته ($300t$) و طوله ($20cm$) يحمل تياراً ($1.5A$)

ما مقدار شدة المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني؟ (3 درجات)

ما مقدار نفاذية القالب (*core*) الذي بداخله عند هذه القيمة من H إذا كان المجال المغناطيسي بداخله B يساوي(0.6.T) وبكم مرة أكبر من μ_0؟ (3 درجات)

س3:

1. أثبت أن:

- wb/s = H A/s (3 درجات)
-

$$\frac{N\phi}{I} = \frac{N^2 A\mu}{l}$$

(3 درجات)

-

$$\lambda f = \frac{w}{k}$$

(3 درجات)

2. إحسب *m.m.f* اللازمة لإنتاج فيض كثافته ($0.6W/m^2$) في فجوة هوائية طولها 8*mm*؟ (6 درجات)

س4:

1. أثبت أن الشكل العام لموجة توافقية:

$$y(x,t) = A\,sin(kx \pm wt - \emptyset)$$

يمكن أن يُعبَّر عنه أيْضًا بالعلاقـــــــــــــــــــة:

$$y(x,t) = A\,sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} \pm \frac{t}{T}\right) - \emptyset\right]$$

(5 درجات)

2. موجة جيبية تتحرك في الاتجاه الموجب x سعتها $10cm$ وطولها الموجي $20cm$ وترددها 5Hz . يوجد جسيم على الموجة إزاحته $y(0,0) = 10cm$ أكتب معادلة إزاحة الجسيمات كدالة في (x,t)؟ (10 درجات)

حظـــــــــــــاً سعيداً

ملحق(4)

معجـــــــم المصطلحـــــــــــــــات

معجـــــــــــــــــــم المصطلحـــــــــــــــــــات

A

Absolute permeability	النفاذية المطلقة
Absolute permittivity	السماحية المطلقة
Absolute temperature	درجة الحرارة المطلقة
Air dielectric capacitor	مكثف العزل الهوائي
Air gap	فجوة هوائية
Ampere	وحدة قياس التيار الكهربائي
Angular velocity	سرعة زاوية
Angular frequency	تردد زاوي
Atom	ذرة

B

Battery	نضيـــدة
B-H curve	منحنى العلاقة بين المجال المغناطيسي وشدة المجال المغناطيسي

C

Capacitance	السعـــة

Capacitive reactance	المعاوقة السعوية
Charge	الشحنـــــة
Circuit	دائرة (مسار مغلق)
Coefficient of coupling	معامل الربط
Coefficient of temperature	معامل الحرارة
Conductance	التوصيـــل
Conventional current	تيار اصطلاحي
Coulomb	وحدة قياس الشحنة الكهربائية
Current	تيـــار
Cutting of flux	قطع الفيض
Cycle	دورة

D

Dielectric constant	ثابـــت العـــزل
Dielectric strength	شدة العـــزل
Discharging battery	تفريغ النضـــدة
Discharging capacitor	تفريغ المكثـــف

E

Eddy current loss	الفقد الناتج عن التيارات الدوامية

Electric field	المجال الكهربائي
Elec. force between parallel plates	القوة الكهربائية بين لوحين متوازين
Electric potential	الجهد الكهربائي
Electromagnetic force	القوة الكهرومغناطيسية
Electromagnetic induction	الحث الكهرومغناطيسي
Electromotive force	القوة الدافعة الكهربائي
Electrons	إلكترونات
Energy	طـــاقة

F

Field	مجـــال
Faraday law	قانون فارادای
Field intensity	شدة المجـــــــال
Flux(electric , magnetic)	فيـــــــــــــض
Flux leakage	تســـــــــــرب الفيض
Flux density (electric , magnetic)	كثـــــــــافة الفيض
Free electrons	الإلكترونات الحرة
Free space	الفضاء الحر
Frequency	التـــــــردد

G

Generator	مولد (التيار المتردد)
Graphical representation of temperature coefficient	التمثيل البياني للمعامل الحراري

H

Henry	وحدة قياس الحث الكهرومغناطيسي
Horse power	القدرة بالحصان
Hysteresis	ظاهرة التخلفية المغناطيسية
Hysteresis loss	الفقد الناتج عن التخلفية المغناطيسية

I

Inductance self	الحث الذاتي
Inductance mutual	الحث المتبادل
Internal resistance	المقاومة الداخلية (للنضيدة والمصدر)

K

Kilovolt –ampere	وحدة قياس للقدرة الكهربائية
Kilowatt-hour	وحدة قياس للقدرة

L

Leakage flux	تسرب الفيض
Lenz law	قاعدة لنز
Line of force	خطوط القوة (الكهربائية والمغناطيسية)

M

Magnets permanent	مغنطـــــــــــة دائمة
Magnets temporary	مغنطـــــــــة مؤقتة
Magnetic circuits (series, parallel)	الدوائر المغناطيسية (توالي وتوازي)
Magnetization curves	منحنيات المغنطة
Mageto-motive force	القوة الدافعة المغناطيسية

N

Negative temperature coefficient	معامل الحراري السالب
Newton	وحدة قياس القوة
Nucleus	نواة الذرة

O

Ohm	وحدة لقياس المقاومـــــــــة
Ohm law	قانون أوم

P

Parallel circuits	دوائر على التوازي
Parallel plate capacitors	مكثفات ذات ألواح متوازية
Peak value	القيمة القصوى (الذروة)
Permanent magnet	تمغنط دائم
Permittivity	السماحيـــــــــــة
Phase difference	الفرق في الطور
Poles	الأقطـــــــــــــاب
Potential	الجهـــــــد (طاقة الوضع)
Potential difference	الفرق في الجهد
Power	القـــــدرة

R

Reactance (capacitive , inductive)	المفاعلة (السعوية والحثية)
Relative permeability	النفاذية النسبيـــــة
Reluctance	المعاوقـــــة
Residual	الفيض الباقي
Resistance	المقاومـــــة
Resistivity	المقاومة النوعية (المقاومية)

Right –hand rule	قاعدة اليد اليمنى

S

Self –induced voltage	الجهـــــــــد الذاتي المُستحَث
Self inductance	الحـــــث الذاتي
Series circuits	دوائر على التوالي
Series—parallel circuit	دائرة توالي – توازي
Sine curve	منحنــــــــى الجيب
Sinusoidal waveform	الشكل الموجي الجيبي
System of units	نظام الوحدات

T

Temp. coefficient of resistance	المعامل الحراري للمقاومة
Test charge	شحنــة الاختبار
Time period	الزمن الـــــــدوري

U

Units	الوحـــــدات

V

Voltage	الجهــــد (الفولتية)

وحدة لقياس القدرة   Volt-ampere

W

وحدة قياس القـــــــــدرة   Watt

وحدة قياس الفيض المغناطيسي   Weber

الشغـــــــل   Work

المراجـــــــــــــــــــــــــــــــــــــــع

1-BASIC ELECTRICAL ENGINERING
V.K.MEHATA S.CHAND &COMPAY LTD. RAM NAGAR
NEW DELHI-110 055 YEAR2004
2- ELECTRICAL SCIENCE
B.R . GUPTA
S.CHAND&COMPAY LTD. RAM NAGAR NEW DELHI-110 055
3-INTRODUCTORY CIRCUIT ANALYSIS
BOYLESTAD
CHARLES E. MERRILL PUBLISHING COMPANY
A Bell & Toronto London Sydney 1977
4- Applied Physics BEISER
SCHUM'S OUTLINE SERIES
M_cGRAW- HILL BOOK COMPANY
5-FUNDAMENTAL OF OPTICS THIRD EDITION JENKINS AND WHITE
6-MODERN ENGINERING PHYSICS A.S VASUDEVA (RAM NAGAR NEW DELHI -110055)
7- الكهربائيـــــــــــــــــــــــــــــــة والمغناطيسية /غازي ياسين القيسي
2004الطبعة الأولى دار المسيرة عمان –الأردن

المؤلف في سطور

عبد السلام عبد القادر القطاوي

- من مواليد مدينة يفرن سنة 1953م.
- تحصل على الشهادة الثانوية القسم العلمي مدرسة علي النجار الثانوية سنة 1975م.
- تحصل على درجة بكلوريس علوم في مجال فيزياء جامعة طرابلس 1979م.
- تحصل على درجة الماجستير مجال الفيزياء النووية جامعة طرابلس 2004م.
- عمل في الاكادمية الجوية (1980- 1990م).
- عمل بمركز البحوث التقنية (1990- 1996م).
- يعمل حالياً كعضو هيئة تدريس بكلية التقنية الإلكترونية / طرابلس (1996-).
- عمل متعاون بمعامل أبحاث البلازما (2001 – 2007م).
- **مؤلفاته:**

1. الميكانيكا وخواص المادة 1988م. (منهجي لمعاهد المعلمين)
2. الصوت والضوء 1995م.
3. أسس الإلكترونات 2006م.

- له العديد من البحوث والدراسات.
- **البريد الإلكتروني:**

algattawia@yahoo.com